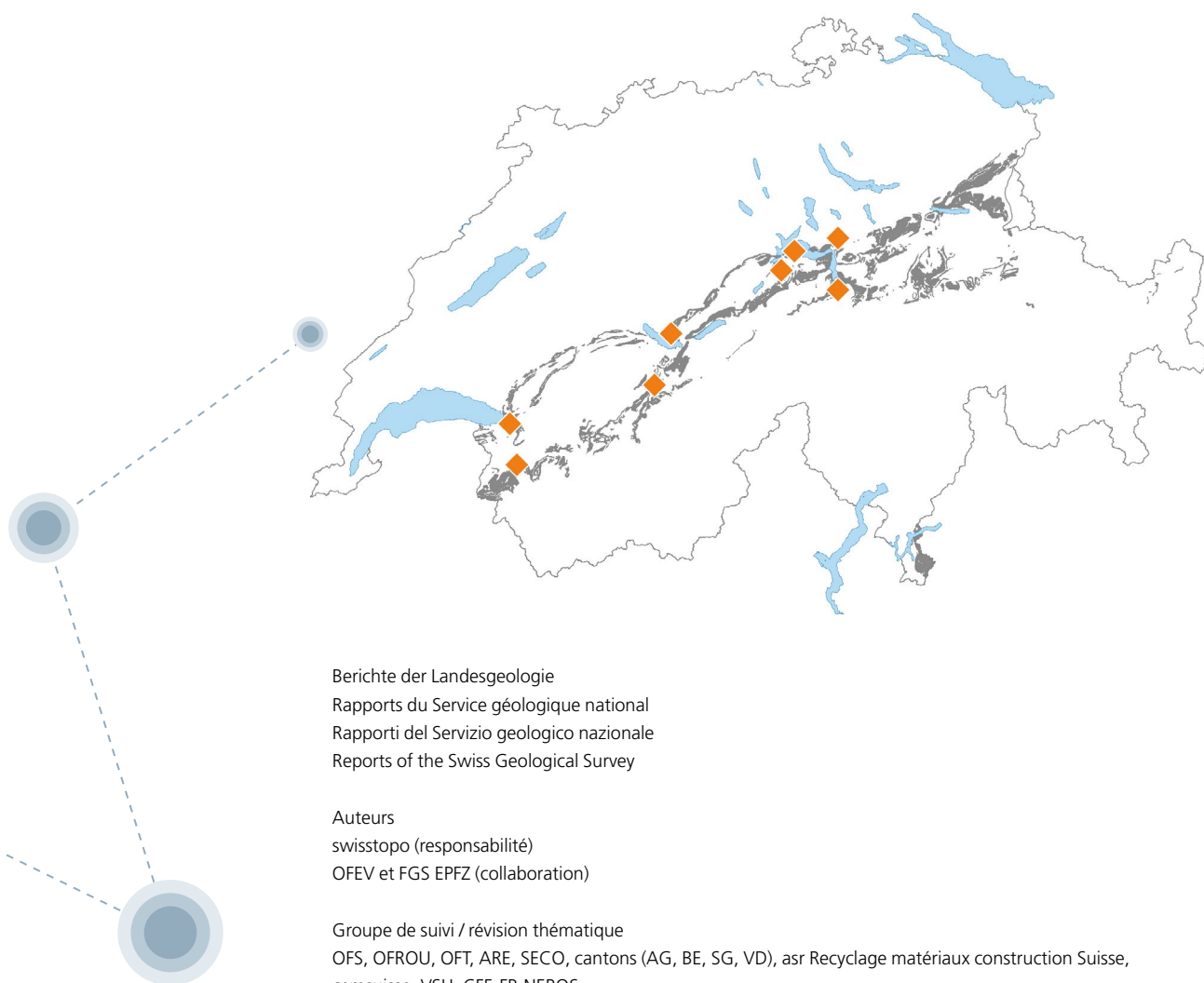


Besoins et état de l'approvisionnement en granulats issus de roches dures en Suisse



Berichte der Landesgeologie
Rapports du Service géologique national
Rapporti del Servizio geologico nazionale
Reports of the Swiss Geological Survey

Auteurs
swisstopo (responsabilité)
OFEV et FGS EPFZ (collaboration)

Groupe de suivi / révision thématique
OFS, OFROU, OFT, ARE, SECO, cantons (AG, BE, SG, VD), asr Recyclage matériaux construction Suisse, cemsuisse, VSH, CFF, FP, NEROS



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Office fédéral de topographie swisstopo
www.swisstopo.ch

Editeur

Office fédéral de topographie swisstopo

Auteurs

Office fédéral de topographie swisstopo (responsabilité)

Office fédéral de l'environnement (OFEV) (collaboration)

Groupe géoressources suisses (FGS), EPF Zurich (collaboration)

Groupe de suivi

Office fédéral de la statistique (OFS)

Office fédéral des routes (OFROU)

Office fédéral des transports (OFT)

Office fédéral du développement territorial (ARE)

Secrétariat d'État à l'économie (SECO)

Canton d'Argovie

Canton de Berne

Canton de St-Gall

Canton de Vaud

asr Recyclage matériaux construction Suisse

Association de l'industrie suisse du ciment (cemsuisse)

Association suisse des carrières de roche dure (VSH)

Chemins de fer fédéraux suisses (CFF)

Fondation suisse pour la protection et l'aménagement du paysage (FP)

Réseau Matières premières minérales Suisse (NEROS)

Mots clés

Matières premières minérales, roches dures, état de l'approvisionnement

Traduction française

Christian Marro, Traductonet (révision A. Morard et T. Galfetti – swisstopo)

Recommandation pour la citation en bibliographie

swisstopo (2021): Besoins et état de l'approvisionnement en granulats issus de roches dures en Suisse. – Rap. Serv. géol. natl. *18 FR* (uniquement au format pdf).

Illustration de la page de titre

Emplacement des principaux sites de production de granulats issus de roches dures d'origine primaire (symboles en orange) et distribution généralisée des gisements de roches dures (surfaces en gris). Sources: swisstopo, FGS.

Copyright

© swisstopo, CH-3084 Wabern, 2021

Disponible au format pdf sur www.swisstopo.ch

Les granulats issus de roches dures jouent un rôle central dans la construction et l'entretien d'importantes voies de communication.

Le calcaire siliceux et le grès du flysch – les deux roches dures les plus utilisées pour la production de ballast ferroviaire et de gravillons routiers – sont certes présents en abondance en Suisse, mais la sécurisation de futurs sites d'extraction en terme d'aménagement du territoire fait toutefois face à plusieurs défis.

Le présent rapport illustre où les roches dures sont extraites et traitées, quel est l'état actuel de l'approvisionnement de la Suisse et comment la demande pourrait évoluer dans un avenir proche.



Besoins et état de l'approvisionnement en granulats issus de roches dures en Suisse

Berichte der Landesgeologie
Rapports du Service géologique national
Rapporti del Servizio geologico nazionale
Reports of the Swiss Geological Survey

Auteurs
swisstopo (responsabilité)
OFEV et FGS EPFZ (collaboration)

Groupe de suivi / révision thématique
OFS, OFROU, OFT, ARE, SECO, cantons (AG, BE, SG, VD), asr Recyclage matériaux construction Suisse,
cemsuisse, VSH, CFF, FP, NEROS



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Office fédéral de topographie swisstopo
www.swisstopo.ch

Executive Summary – Résumé

Les granulats issus de roches dures constituent le principal composant de la superstructure d'une grande partie du réseau ferré helvétique (ballast ferroviaire) de même que des routes à haut débit et des routes principales suisses (gravillons durs). Du point de vue géologique, la Suisse dispose sur son territoire de grands gisements de matières premières potentiellement appropriées pour la production de ces granulats. Les gisements de roches dures sont actuellement exploités à ciel ouvert. Une portion des quantités nécessaires de granulats durs d'origine primaire est aujourd'hui remplacée par des granulats issus du recyclage (RC).

Entre 2016 et 2019, la consommation helvétique de granulats durs a atteint quelque 2,41 millions de tonnes par année, dont environ la moitié a été utilisée pour la construction de voies ferrées (755 000 t de ballast) et de routes (500 000 t de gravillons pour la couche de roulement). Pour répondre à la demande, l'industrie suisse des roches dures a fourni environ 2,15 millions de tonnes de granulats par an. Environ 0,26 million de tonnes ont été importées. Il n'y a pas eu d'exportations.

Selon la prévision réalisée dans le cadre de ce rapport, presque 1,2 million de tonnes de ballast ferroviaire devraient être nécessaires chaque année pour entretenir et rénover les voies ferrées entre 2025 et 2035. En admettant que la part de ballast recyclé directement sur les chantiers ferroviaires reste inchangée (environ 30% de la demande totale en ballast), les besoins prévus en ballast d'origine primaire atteindront 780 000 t par année. Les couches de roulement des routes à haut débit et des routes principales requerront quant à elles encore environ 500 000 t de gravillons durs par année. En raison des hautes exigences en terme de qualité, le ballast ferroviaire est actuellement le granulat qui joue un rôle déterminant. Les autres besoins peuvent être couverts par les produits générés lors des étapes suivantes du traitement du matériel résiduel.

Un approvisionnement stable en ballast ferroviaire et en gravillons durs nécessite principalement un accès assuré à des gisements de roches dures de qualité appropriée sur le long terme. Or, sur certains sites d'exploitation, cet accès est actuellement limité, notamment en raison des cadres juridiques présents. En outre, les projets d'extension de sites d'extraction de roches dures faisant l'objet d'une demande sont souvent sujets à des oppositions.

Le présent rapport arrive à la conclusion que le degré de couverture des besoins suisses par la production indigène tomberait à 66% pour le ballast ferroviaire (74% en 2018) et à 92% pour les gravillons durs (100% en 2018) à partir de 2023 faute d'autorisation des extensions de sites d'exploitation sollicitées par leurs détenteurs et à condition que la part du recyclage ou la production totale n'augmente pas davantage au cours des prochaines années. La procédure d'octroi de permis de construire et la planification relative à trois projets d'extension de carrière est actuellement en cours. Si les projets en question sont autorisés, la production nationale pourrait couvrir environ 92% de la demande nationale de ballast

ferroviaire jusqu'à 2030 et la totalité de celle des gravillons durs. Des investigations sont actuellement en cours pour déterminer dans quelle mesure le recyclage, en particulier celui du ballast, peut encore être développé. Cet aspect sera abordé dans une mise à jour de ce rapport.

Si l'on veut assurer à long terme l'approvisionnement en granulats durs par des sources indigènes, comme le suggère le Plan sectoriel des transports, partie Programme «Mobilité et territoire 2050», la planification et l'approbation de projets d'extension ou de nouveaux sites d'extraction sont nécessaires. Le délai pour obtenir une autorisation d'extraction, de l'établissement du plan directeur au début de l'exploitation, peut atteindre plus de dix ans. Cela nécessite une planification et une coordination précoces de la part des autorités et de l'industrie.

Table des matières

Executive Summary – Résumé	5
1 Introduction	9
1.1 Situation initiale et buts du rapport	9
1.2 Structure du rapport	10
2 Définitions	11
2.1 Gisements, ressources et réserves	11
2.2 Termes techniques	12
2.3 Normes et réglementations	12
3 Les roches dures en Suisse	13
3.1 Une matière première à la base d'infrastructures de transport performantes	13
3.2 Fabrication et utilisation de granulats durs	16
3.3 Granulats durs issus du recyclage	21
3.4 Sites de production de granulats durs d'origine primaire	24
3.5 Production indigène, importations et exportations	26
4 Prévisions des besoins en roches dures jusqu'en 2035	29
5 Approvisionnement de la Suisse en granulats durs indigènes	32
5.1 Caractérisation, localisation et qualification des gisements de roches dures	32
5.2 Rétrospective sur la sécurité de l'approvisionnement en granulats durs	33
5.3 État actuel de l'approvisionnement en granulats durs primaires	35
6 Défis posés à l'approvisionnement en granulats durs	38
6.1 Sécurisation de projets d'extraction par l'aménagement du territoire	39
6.2 Impacts sur le paysage et la biodiversité	41
6.3 Extraction de roches dures en souterrain: potentiels et limites	43
6.4 Potentiels et limites de la préservation des matières premières primaires	44
7 Résumé et conclusions	48
8 Références	51
9 Termes utilisés	54
10 Abréviations	56

11	Annexes	57
A-1	Bases et méthode appliquées pour prévoir les besoins	57
A-1.1	Base de calcul des besoins en ballast ferroviaire pour la construction de voies ferrées	58
A-1.2	Base de calcul des besoins en gravillons durs pour la construction routière	58
A-2	Les sites suisses d'exploitation de roches dures	59
A-2.1	FAMSA	59
A-2.2	Arvel	61
A-2.3	Blausee-Mitholz	63
A-2.4	Balmholz	65
A-2.5	Rotzloch	67
A-2.6	Kehrsiten	67
A-2.7	Zingel	69
A-2.8	Gasperini	71
A-3	Normes et réglementations sélectionnées mentionnées dans le texte	73

1. Introduction

1.1 Situation initiale et buts du rapport

En vertu du Rapport sur les matières premières minérales [1] et de la mesure 5a pour 2016–2019 du Plan d'action économie verte [2], le Conseil fédéral a chargé swisstopo et l'OFEV d'établir des rapports sur la sécurité de l'approvisionnement en matières premières, traitant des matières premières minérales non énergétiques indigènes, et de les mettre à jour périodiquement. Ces rapports présentent la consommation actuelle et l'état de l'approvisionnement de la Suisse en matières premières et ils estiment les besoins nationaux sur le court à moyen terme.

Les granulats issus de roches dures (granulats durs) jouent un rôle significatif pour le bon fonctionnement des routes à haut débit et des routes principales ainsi que d'une grande partie du réseau ferré en Suisse. Comme pour beaucoup d'autres matières premières minérales très utiles à notre société, l'exploitation de roches dures a une incidence sur le territoire, sur l'environnement et sur la population. Les sites d'extraction font souvent l'objet de différents conflits portant sur l'utilisation ou la protection du (sous)-sol, susceptibles de compliquer l'approvisionnement du pays en roches dures indigènes sur le long terme.

Au cours des dernières décennies la Suisse a dû faire face à une pénurie en granulats durs. Elle a franchi une étape importante pour assurer son approvisionnement sur le long terme en adaptant le Plan sectoriel des transports et les principes y afférents en 2008 [3]. Cette démarche a été déclenchée par l'arrêt du Tribunal fédéral du 13.3.2007 concernant les carrières d'Arvel (VD) [4]. Le plan sectoriel de 2008 définit l'intérêt national d'un site d'extraction de roches dures en considérant notamment son apport à la production annuelle de ballast ferroviaire de classe I pour couvrir la demande suisse (voir également le chap. 6.1). Cette approche est poursuivie dans la mise à jour du Plan sectoriel des transports, partie Programme «Mobilité et territoire 2050» en 2021 [5].

Le présent rapport sur la sécurité de l'approvisionnement en matières premières a pour but de déterminer les besoins en granulats durs qui sont importants pour l'infrastructure de transport suisse et d'évaluer l'état actuel de l'approvisionnement en ces matériaux d'un point de vue national. Ce document de base soutient les stratégies de développement et les principes d'action définis dans le Plan sectoriel des transports, partie Programme «Mobilité et territoire 2050». Ce rapport s'adresse en particulier aux décideurs, décideuses et aménagistes à l'échelon cantonal et communal de même qu'aux milieux économiques. Il souhaite les assister dans l'élaboration de solutions intercantionales visant à sécuriser l'approvisionnement de la Suisse en granulats durs.

Ce document a été établi sous la direction du Service géologique national auprès de swisstopo, en collaboration étroite avec l'OFEV et le Groupe Géoressources suisses de l'EPF Zurich (FGS) ainsi qu'avec un groupe de suivi composé de représentantes et représentants d'offices fédéraux (ARE, OFROU, OFS, OFT, SECO), de cantons (AG, BE, SG, VD), d'associations industrielles (VSH, cemsuisse, asr), des CFF, de la Fondation suisse pour la

protection et l'aménagement du paysage (FP) et du Réseau Matières premières minérales Suisse (NEROS).

1.2 Structure du rapport

Les chapitres 1 et 2 définissent les buts du rapport et expliquent les termes fondamentaux utilisés. Le chapitre 3 livre une vue d'ensemble de l'utilisation, des domaines d'application, de la fabrication et des sites de production de granulats durs, puis il chiffre la production indigène ainsi que les importations et les exportations. Il met l'accent sur les sites dans lesquels ces granulats (en particulier le ballast ferroviaire de haute qualité – de classe I) sont fabriqués. Les sites de production de ballast de classe II sont mentionnés au chapitre 3.4, mais ne sont pas présentés en détail plus loin dans ce rapport. Le chapitre 4 propose une prévision de l'évolution future de la demande en ballast ferroviaire et en gravillons durs et le chapitre 5 expose l'état de l'approvisionnement de ces granulats en Suisse. Le chapitre 6 décrit les défis auxquels l'extraction de roches dures et la fabrication de granulats sont confrontés. Le chapitre 7 résume la situation présentée et tire des conclusions.

2. Définitions

2.1 Gisements, ressources et réserves

Les termes «gisement(s)», «ressource(s)» et «réserve(s)» sont utilisés dans ce rapport (en particulier au chap. 5.3). Cette terminologie, qui n'est pas utilisée de façon uniforme dans les cantons ou dans l'industrie minière suisse, se base sur la terminologie définie et reconnue par la pratique minière internationale (p.ex. PERC¹ [6]). La définition de ces termes est décrite ci-après de manière simplifiée:

Un **gisement** est une concentration naturelle de matière(s) première(s) minérale(s) ou autre(s) revêtant un intérêt économique potentiel. Ses caractéristiques géologiques en tant que matière(s) première(s) (en particulier qualité et tonnage) ne sont pas (encore) suffisamment bien étudiées et/ou la faisabilité de l'extraction aux plans économique et technique ainsi que les droits d'accès ne peuvent pas être vérifiés ou n'ont pas (encore) été examinés.

Exemples: La localisation précise, l'épaisseur utile ou la qualité d'une couche de roche potentiellement apte en tant que matière(s) première(s) pour la fabrication de granulats durs n'a pas (encore) été vérifiée. Une telle couche peut aussi se trouver dans une zone de protection des eaux souterraines, dans une région touristique ou à une altitude supérieure à 3000 mètres.

Une **ressource** est un gisement de matière(s) première(s) minérale(s) à fort potentiel économique dont les caractéristiques géologiques en tant que matière(s) première(s) sont suffisamment bien connues, mais dont les droits d'accès et/ou la faisabilité de l'extraction aux plans économique et technique ne sont pas établis ou vérifiés définitivement (toutes les conditions à remplir par une réserve ne sont donc pas satisfaites).

Exemple et application: Un gisement de matière(s) première(s) bien étudié et qualitativement approprié appartient au détenteur d'un site d'exploitation de roches dures. Le périmètre concerné par le projet d'extraction est classé en coordination réglée dans le plan directeur. Aucune autorisation d'extraction n'a encore été délivrée.

Une **réserve** est un gisement de matière(s) première(s) dont les caractéristiques géologiques en tant que matière(s) première(s) sont suffisamment bien connues et dont, contrairement à la ressource, la faisabilité de l'extraction est assurée aux plans économique et technique. En outre, les droits d'accès pour procéder à l'extraction sont garantis (en particulier, les rapports de propriété sont clairement établis) et toutes les autorisations nécessaires à l'extraction ont été délivrées.

Exemple et application: Un gisement de matière(s) première(s) bien étudié et qualitativement approprié appartient au détenteur d'un site d'exploitation de roches dures. Tous les documents contraignants pour les autorités et pour le

1 Pan-European Reserves and Resources Reporting Committee.

propriétaire du terrain concernant l'extraction prévue (ou l'extension du périmètre d'exploitation) sont disponibles (les procédures d'établissement du plan directeur et du plan d'affectation ainsi que d'octroi du permis de construire sont achevées).

2.2 Termes techniques

Les termes techniques utilisés dans ce rapport sont expliqués au chapitre 9.

2.3 Normes et réglementations

Une liste de normes et de réglementations sélectionnées auxquelles ce rapport se réfère est fournie à l'annexe A-3.

3. Les roches dures en Suisse

3.1 Une matière première à la base d'infrastructures de transport performantes

Le terme «roche(s) dure(s)» désigne une matière première minérale qui se caractérise notamment par une très grande résistance à la compression et à l'abrasion et par une proportion importante de minéraux durs (en particulier du quartz). Le chapitre 5.1 présente une vue d'ensemble des unités lithologiques connues et présentes en Suisse qui satisfont à ces critères. Le chapitre 3.2 expose le processus de traitement transformant la roche dure en granulats durs.

Les caractéristiques spécifiques des roches dures jouent un rôle central pour assurer le bon fonctionnement d'une partie importante des infrastructures de transport suisses. Les granulats produits à partir des roches dures, conformes aux normes en vigueur et bénéficiant d'une longue expérience acquise dans le secteur de la construction, représentent la composante principale de la superstructure des routes à haut débit et des routes principales, de même que d'une grande partie du réseau ferré en Suisse (voir le chap. 3.2). Les normes de l'Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS, voir l'annexe A-3) prescrivent d'appliquer sur ces voies de communication des matériaux minéraux aptes à supporter les charges dues au trafic sur le long terme. En particulier ces matériaux doivent disposer d'une très haute résistance à la compression et à l'abrasion.

Les infrastructures de transport suisses comptent parmi les plus denses d'Europe. Leur réseau occupe plus de 2% de la superficie de notre pays et il se concentre sur le Plateau et les vallées principales des Alpes, en raison de la morphologie de la Suisse. Les flux de trafic les plus importants parcourent l'axe ouest-est traversant le Plateau dans le sens de la longueur et les deux axes nord-sud Bâle–Gothard–Tessin et Bâle–Lötschberg–Simplon (Fig. 1) [7].

Sur les quelque 83 300 kilomètres de longueur totale du réseau routier suisse, à peine un quart sont des routes nationales et cantonales [8, 9]. Ces dernières figurent dans les catégories des routes à haut débit et des routes principales définies par la VSS [10].² Elles assurent une fonction de transit et de liaison à l'échelle internationale, nationale et entre localités. Mais si les routes nationales ne représentent qu'une petite partie du kilométrage total (Fig. 2), elles absorbent environ 40% du trafic suisse [11]. L'importance des routes nationales et cantonales dans la répartition du trafic et la charge qui va de pair nécessitent un gabarit de construction résistant sur le long terme, recourant donc à des granulats particulièrement durs.

D'après le jeu de géodonnées de base «Réseau ferré» [12], les voies de chemin de fer suisses ont une longueur totale de quelque 5400 km (état à fin 2017). Deux tiers sont exploités par les CFF et un tiers par plus de quarante autres entreprises ferroviaires. Une grande partie du réseau ferré suisse a une portée internationale, nationale et entre localités. Le bon

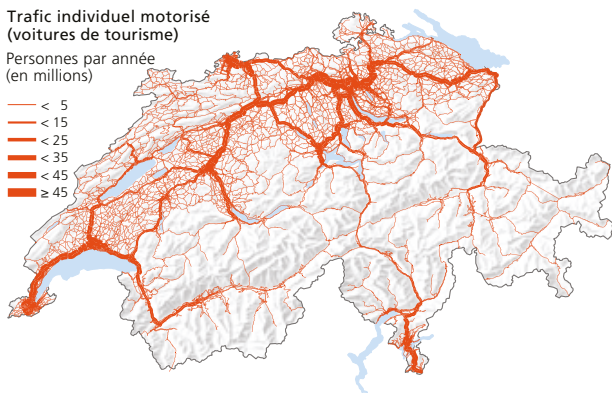
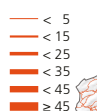
² Voir également la norme VSS 40 040B (voir l'annexe A-3).

fonctionnement de ces lignes fortement sollicitées nécessite notamment des fondations sûres et aptes à supporter des charges importantes, recourant donc à du ballast particulièrement durable (ballast ferroviaire de classe I, voir le chap. 3.2).

Transport de personnes

Trafic individuel motorisé
(voitures de tourisme)

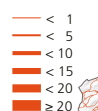
Personnes par année
(en millions)



Transport de marchandises

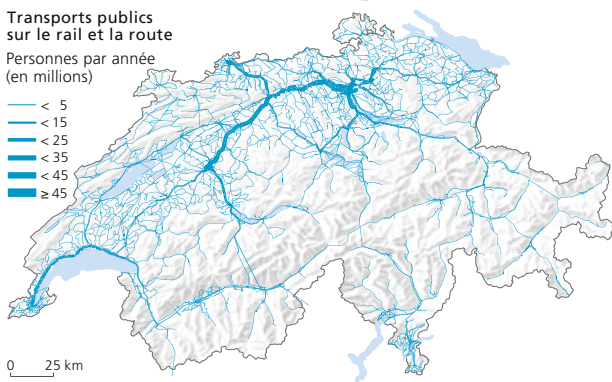
Route

Tonnes par année
(en millions)



Transports publics
sur le rail et la route

Personnes par année
(en millions)



Rail

Tonnes par année
(en millions)

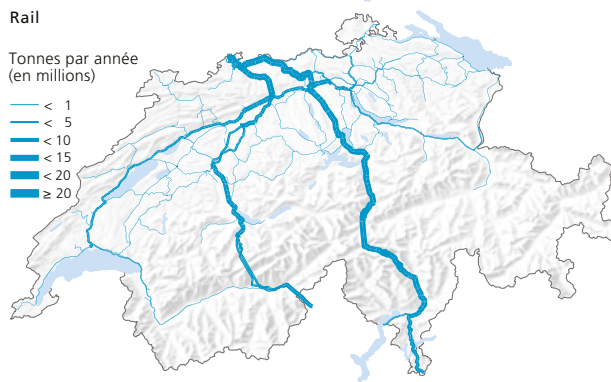


Fig. 1: Flux de trafic en 2015 dans le transport de personnes (trafic individuel motorisé et transports publics) et dans le transport de marchandises (sur la route et le rail). Les flux de trafic se concentrent généralement sur l'axe ouest-est traversant le Plateau dans le sens de la longueur et sur les deux axes nord-sud Bâle–Gothard–Tessin et Bâle–Lötschberg–Simplon [7].

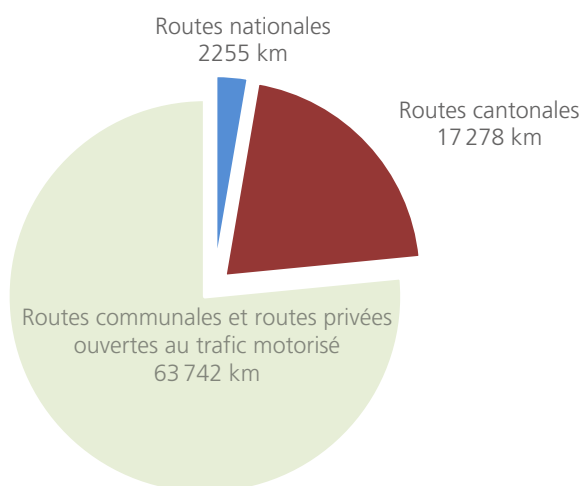


Fig. 2: Répartition du kilométrage dans le réseau routier suisse (environ 83 300 kilomètres au total) en fonction de différents types de routes (les chiffres correspondent à la longueur des axes, les tronçons à chaussées séparées ne sont comptés qu'une fois). Les routes nationales et les routes cantonales tombent dans les catégories des routes à haut débit et des routes principales, dont le revêtement nécessite des granulats durs.

Données: OFS et OFROU (état en 2020).

Comme le montre une analyse de la statistique des transports de l'OFS, les prestations kilométriques³ ont augmenté constamment entre 2000 et 2019, dans le transport de personnes comme de marchandises (Fig. 3) [8, 13, 14]. En 2019, des prestations kilométriques d'un total de 69 milliards de véhicules-kilomètres et de 229 millions de trains-kilomètres ont été fournies. Cela correspond à une croissance de 31% dans le trafic routier motorisé et de 33% dans le trafic ferroviaire depuis 2000. Cette évolution s'explique notamment par l'augmentation de la population (d'environ 19%) et de sa mobilité, ainsi que par l'expansion économique (croissance du produit intérieur brut de 54% à prix courants). Des scénarios supramodaux de l'ARE portant sur l'évolution des transports de personnes et de marchandises en Suisse indiquent une poursuite de la hausse jusqu'en 2040 [15]⁴ (voir également le chap. 4).

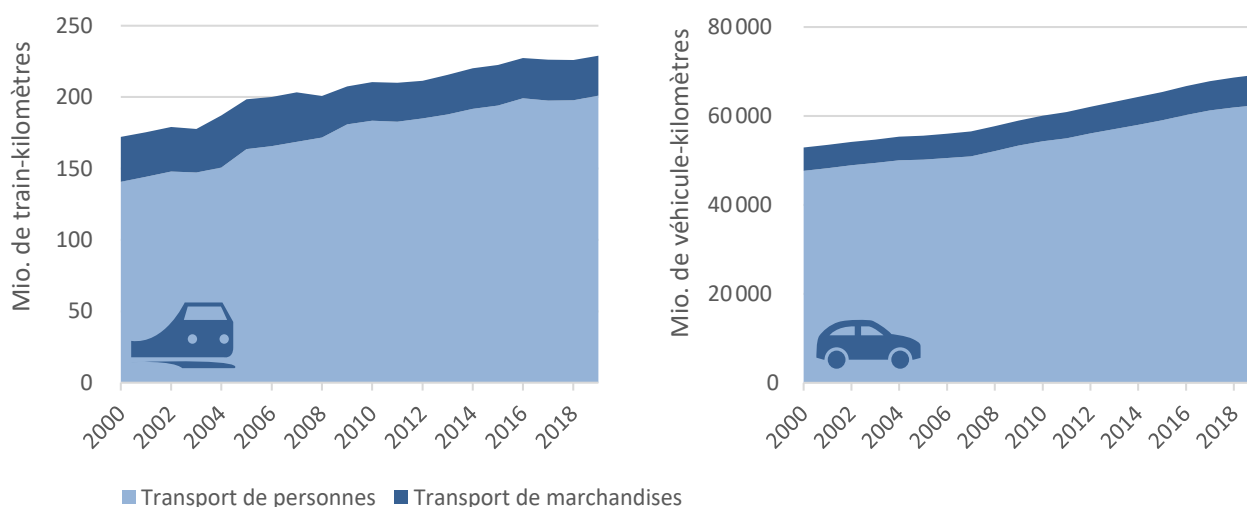


Fig. 3: Évolution des prestations kilométriques dans le transport de personnes et de marchandises sur le rail (à gauche) et sur la route (à droite) de 2000 à 2019. Un train-kilomètre ou un véhicule-kilomètre correspond à un kilomètre parcouru par un train ou par un véhicule routier [8, 13, 14].

L'augmentation du trafic sur les routes et les voies ferrées helvétiques induit un accroissement de la charge sur le gabarit de ces infrastructures. Les travaux de maintenance et de rénovation doivent être poursuivis, voire intensifiés, pour éviter une usure rapide de ces infrastructures. Actuellement, environ 1000 kilomètres de routes à haut débit et de routes principales et environ 300 kilomètres de voies ferrées sont rénovés annuellement [16]. Le Parlement suisse a accordé des investissements de quelque 15 milliards de francs pour les routes nationales jusqu'en 2030 [17] et de quelque 13 milliards de francs pour les voies ferrées jusqu'en 2035 [18]. Afin que ces infrastructures restent performantes à l'avenir, il est nécessaire de garantir l'approvisionnement en granulats durs d'une qualité répondant aux normes. Dans la mise à jour du Plan sectoriel des transports, partie Programme «Mobilité et territoire 2050» en 2021, la Confédération rappelle à nouveau l'importance des roches dures et de la sécurité de leur approvisionnement pour les infrastructures de transport [7].

3 Une prestation kilométrique correspond à la somme des trajets parcourus par des véhicules pendant une période donnée, exprimée en véhicules-kilomètres ou en trains-kilomètres.

4 Les perspectives d'évolution du transport 2050 ont été publiées à la fin de l'année 2021. Celles-ci seront incluses dans une mise à jour de ce rapport.

3.2 Fabrication et utilisation de granulats durs

En Suisse, les roches dures sont jusqu'à présent extraites à ciel ouvert par forage et par minage (voir l'annexe A-2). L'extraction en souterrain n'a pas lieu actuellement, mais pour certains projets, le transfert des activités minières en souterrain est en cours de clarification (voir le chap. 6.3). D'un point de vue technique, la roche extraite est fragmentée en plusieurs étapes de concassage, puis elle est criblée et répartie en différentes fractions selon sa granulométrie (Fig. 4 et 5). Le concassage produit des grains anguleux. Selon les besoins, les gros blocs peuvent être retirés avant le concassage, puis utilisés, par exemple, dans des ouvrages de protection contre les crues, des murs ou comme pierres de taille.

Le ballast ferroviaire, correspondant à la fraction issue du concassage qui présente la granulométrie la plus élevée (32–50 mm), est produit en premier. Il est subdivisé en deux classes – classes I et II⁵ – en fonction de sa qualité, selon les normes et règlements de l'industrie ferroviaire.⁶ Ces deux classes se distinguent fondamentalement par leur résistance à la fragmentation⁷, plus élevée pour le ballast ferroviaire de classe I, et par la dureté de la roche extraite.⁸ L'aptitude à la fabrication de ballast ferroviaire de classe I ou II dépend principalement des caractéristiques géomécaniques locales de la roche exploitée. Du ballast ferroviaire de classe I est essentiellement produit là où les conditions le permettent.

La fraction granulométrique qui est produite ensuite est celle des gravillons durs (4–32 mm). Principalement utilisés dans la construction routière, ils sont caractérisés par une résistance élevée à la fragmentation⁷ ainsi qu'à l'effet de polissage⁹ par les pneus de véhicules.¹⁰

Puis les fractions plus fines sont traitées et triées: sable concassé (0,06–6 mm) et farine de roche (ou filler, < 0,06 mm) (Tab. 1 et Fig. 6). Toutes les fractions sont stockées séparément pour la vente et acheminées sur les marchés par train, par camion ou par bateau.

En fonction des caractéristiques géologiques et géotechniques du site d'exploitation de matières premières et l'état de la technique actuelle d'extraction et de traitement, on peut produire, par extraction d'un volume donné de roche, au maximum un tiers de ballast ferroviaire, un tiers de gravillons durs et un tiers de fractions granulométriques de taille moindre. En règle générale, les entreprises cherchent à maximiser la production de ballast ferroviaire – la demande en ballast étant actuellement la classe granulométrique déterminante pour l'extraction et le traitement des roches dures.

5 Il existait autrefois aussi du ballast de classe III, mais celui-ci n'est plus produit à l'heure actuelle.

6 Norme SN 670 110-NA / EN 13450 et règlement R RTE 21110 (voir l'annexe A-3).

7 La résistance à la fragmentation est déterminée au moyen d'un essai Los Angeles, selon la norme SN 670 903-2C / EN 1097-2 (voir le chap. 9).

8 Les critères applicables à la dureté de la roche et à l'aptitude du ballast des classes I et II sont définis dans les normes VSS 70 115 et SN 670 110-NA (voir l'annexe A-3).

9 La résistance à l'effet de polissage dû aux pneus de véhicules est déterminée au moyen de l'essai selon la norme SN 670 903-8B / EN 1097-8 et exprimée par le coefficient de polissage accéléré PSV (voir le chap. 9).

10 Les critères d'aptitude des gravillons routiers sont définis dans les normes SN 670 103B-NA / EN 13043 et VSS 70 115 (voir l'annexe A-3).

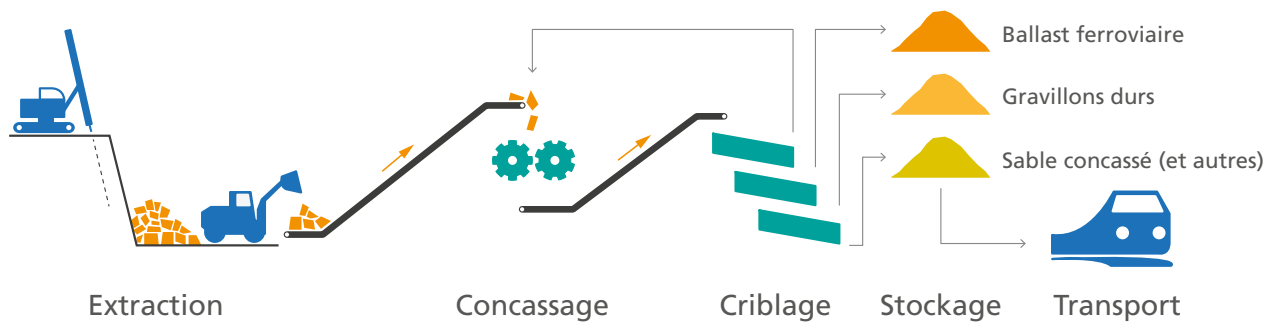


Fig. 4: Les principales étapes de la fabrication de granulats durs.

Extraction



Concassage



Criblage



Stockage et transport



Fig. 5: Illustration des principales étapes de la fabrication de granulats à partir de roches dures.
Photos: Carrière de roches dures de Kehrsiten (Holcim (Suisse) SA), installation de concassage sur le site de Zingel (swisstopo, 2019), installation de criblage [19], dépôt de ballast ferroviaire à Rotzloch (swisstopo, 2019).

Tab. 1: Catégories principales de granulats durs, classées selon leur granulométrie.

Produits	Granulométrie (mm)	Commentaires / applications
Ballast ferroviaire	32–50	Subdivisé en ballast ferroviaire de classe I et de classe II selon la résistance à la fragmentation et la dureté de la roche d'origine. Application typique: construction ferroviaire.
Gravillons durs	4–32	Subdivisé en différentes sous-granulométries. Application typique: superstructures de routes.
Sable concassé	0,06–6	Subdivisé en différentes sous-granulométries. Application typique: superstructures de routes.
Farine (de roche, filler)	< 0,06	Applications typiques: construction routière (dans l'asphalte) et comme additif dans le béton.
Graves non traitées	0–90	Granulométries combinées. Applications typiques: support de voies ferrées et de routes (comme matériau de coffrage ou de nivellement et pour la couche de protection de la plate-forme (PSS)).
Divers	0–X	Blocs, moellons ou pavés et granulométries combinées non normées.



Fig. 6: Différentes fractions de granulats durs classées par granulométrie.
Source de la photo: [19], modifié.

Les différents granulats à base de roche dures sont utilisés dans les domaines suivants, selon leur qualité et leur granulométrie:

- A. Comme composants dans la construction ferroviaire
- B. Comme composants dans la construction routière
- C. Comme composants de bétons à haute résistance dans le bâtiment et le génie civil
- D. Comme pierres de taille ou comme éléments de protection contre les crues

Les domaines d'application A et B sont particulièrement cruciaux pour le bon fonctionnement des routes à haut débit et des routes principales ainsi que d'une grande partie du réseau ferré suisse. Aussi le présent rapport se concentre-t-il exclusivement sur ces deux domaines.

A. LES ROCHES DURES COMME COMPOSANTS DANS LA CONSTRUCTION FERROVIAIRE

Le ballast ferroviaire est un composant clé de la superstructure des voies ferrées. Appliqué en lits épais d'une trentaine de centimètres en moyenne, il stabilise le corps de la voie en transmettant dans le sous-sol les charges dynamiques du trafic ferroviaire. C'est pourquoi seuls des granulats anguleux – susceptibles de s'imbriquer – sont utilisés. Il assure également une fonction drainante importante. L'eau qui parvient sur la voie peut s'échapper rapidement entre les granulats, ce qui garantit la stabilité du corps de la voie sur le long terme. Le ballast ferroviaire empêche également la croissance de la végétation.

Les sollicitations physiques subies par le corps des voies ont augmenté constamment au cours des dernières décennies, suite à l'accroissement du trafic ferroviaire (voir le chap. 3.1). Des trains plus fréquents et plus lourds, qui roulent plus vite et accélèrent plus fort, transmettant ainsi des forces ponctuelles accrues sur les rails, usent considérablement la voie et le lit de ballast sous-jacent. La durée d'utilisation d'une voie ferrée atteint actuellement 25 à 40 ans selon les charges exercées sur le tronçon concerné. Quelque 300 kilomètres de voie sont rénovés chaque année afin d'assurer le bon fonctionnement du réseau ferré [16]. Pour la construction d'une nouvelle ligne, et selon le degré de sollicitation de la voie, ce sont 2600 à 3700 tonnes de ballast ferroviaire qui sont appliqués sur chaque kilomètre de voie.

En vertu des règlements de l'Union des transports publics (UTP) et des CFF, du ballast ferroviaire de classe I doit être posé sur les tronçons sujets à une charge supérieure à 15 000 tonnes par jour ou recevoir des trains roulant à une vitesse supérieure à 80 km/h.¹¹ En deçà de ces valeurs (p.ex. pour les chemins de fer à voie étroite), un ballast ferroviaire de classe II est bien approprié, mais pas prescrit.

L'infrastructure située entre la superstructure de la voie ferrée et le sous-sol a pour fonctions principales de répartir les charges exercées sur la voie, de protéger le sous-sol contre les effets d'infiltration d'eau et de séparer le ballast ferroviaire du sous-sol (Fig. 7) [20]. Cette couche est en règle générale composée d'une grave non traitée, compactée, de 20 à 40 cm d'épaisseur, appelée «grave PSS»¹². Cette grave doit en particulier présenter une distribution granulométrique très spécifique et une teneur en eau donnée. Elle ne doit pas obligatoirement être à base de roches dures, toutefois une grande partie des sites d'exploitation de roches dures sont en mesure de produire ce mélange. Il faut entre 1400 et 5000 tonnes de «grave PSS» par kilomètre de voie.

¹¹ Règlement R RTE 21110 (voir l'annexe A-3).

¹² PSS = Planumsschutzschicht, soit couche de protection de la plate-forme.

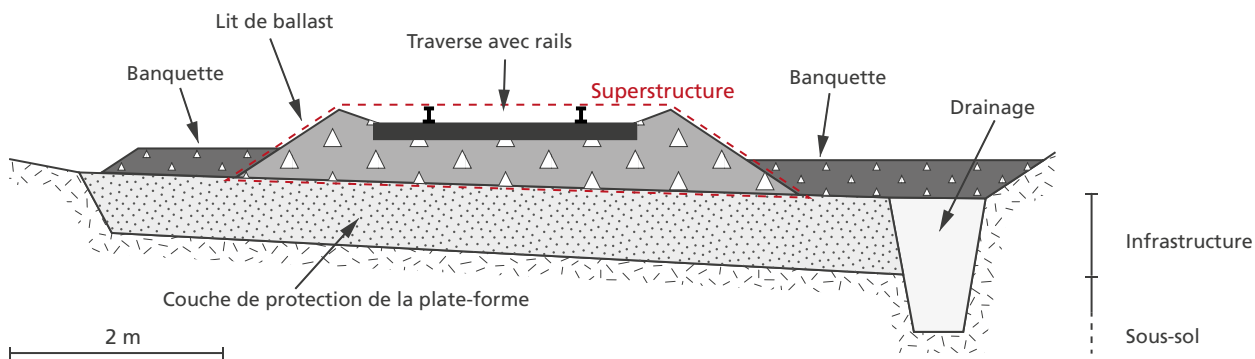


Fig. 7: Coupe à travers un corps de voie. Des granulats issus de roches dures sont utilisés dans le lit de ballast et souvent aussi comme grave PSS dans la couche de protection de la plate-forme.

B. LES ROCHES DURES COMME COMPOSANTS DANS LA CONSTRUCTION ROUTIÈRE

Les routes qui sont soumises à une forte charge de trafic, comme les routes à haut débit et les routes principales,¹³ nécessitent une couche de roulement, une couche de liaison et une couche de base¹⁴ aptes à supporter des charges importantes, ainsi que des couches de fondation solides (Fig. 8). Toutes ces couches nécessitent, entre autres, des granulats à forte résistance à la compression et à la fragmentation. Il est en outre essentiel que le mélange bitumineux utilisé pour la couche de roulement, d'une épaisseur de l'ordre de trois centimètres, résiste spécialement bien à l'effet de polissage dû aux pneus de véhicules. D'après les normes¹⁵, cette couche doit être confectionnée avec des gravillons anguleux issus de roches dures.

La couche de roulement des routes à haut débit et des routes principales doit généralement être renouvelée tous les 20 à 30 ans (exception: tous les 15 ans pour les nouveaux revêtements routiers peu bruyants). La confection du revêtement d'un kilomètre de route nationale à deux voies (95% de gravillons durs) nécessite 1100 tonnes de gravillons durs.

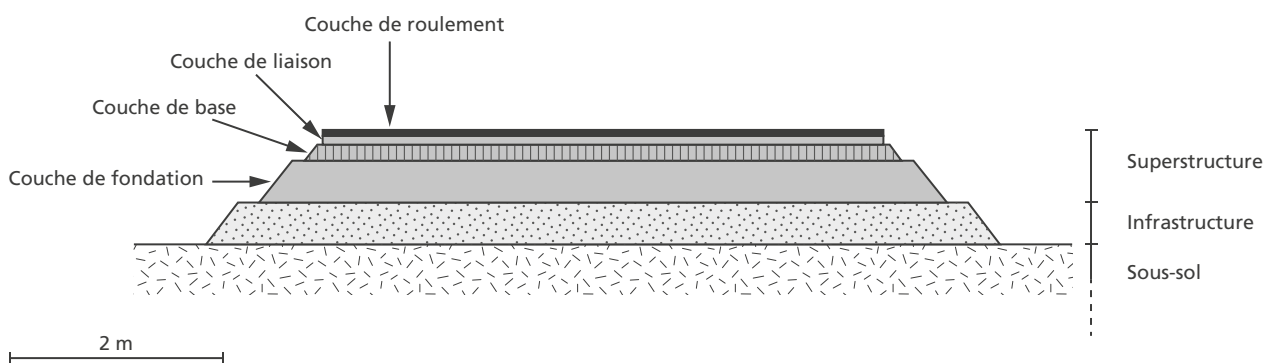


Fig. 8: Coupe à travers une route. Selon les normes¹⁴, la couche de roulement doit être constituée de gravillons durs, qui peuvent être – et sont souvent – utilisés dans les autres couches.

13 Classes de trafic T5 et T6 selon les normes VSS 40 324, VSS 40 041, VSS 40 042 et VSS 40 320 (voir l'annexe A-3).

14 Désignations selon la norme VSS 40 302B. Mélanges bitumineux S et H selon la norme SN 640 420 (voir l'annexe A-3). Type S = sollicitation sévère; type H = sollicitation très sévère.

15 Normes SN 670 103B-NA / EN 13043 et VSS 70 115 (voir l'annexe A-3).

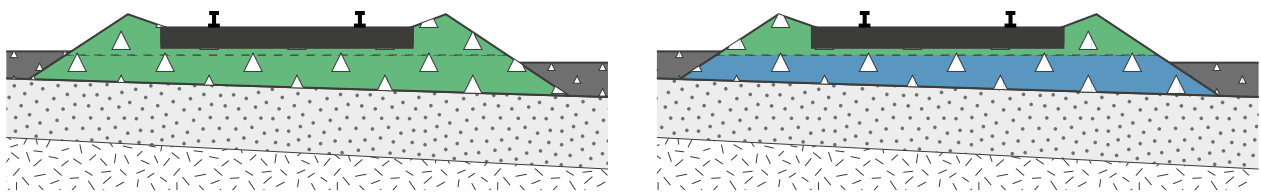
3.3 Granulats durs issus du recyclage

En plus des granulats produits à partir de roches dures primaires, des granulats issus du recyclage (granulats RC) sont également utilisés dans les infrastructures de transport suisses. Le bouclage des cycles de matières permet de diminuer la demande en roches dures primaires et d'en ménager les gisements naturels (voir également les chap. 4 et 6.4). Ce processus est différemment avancé dans la construction ferroviaire et routière.

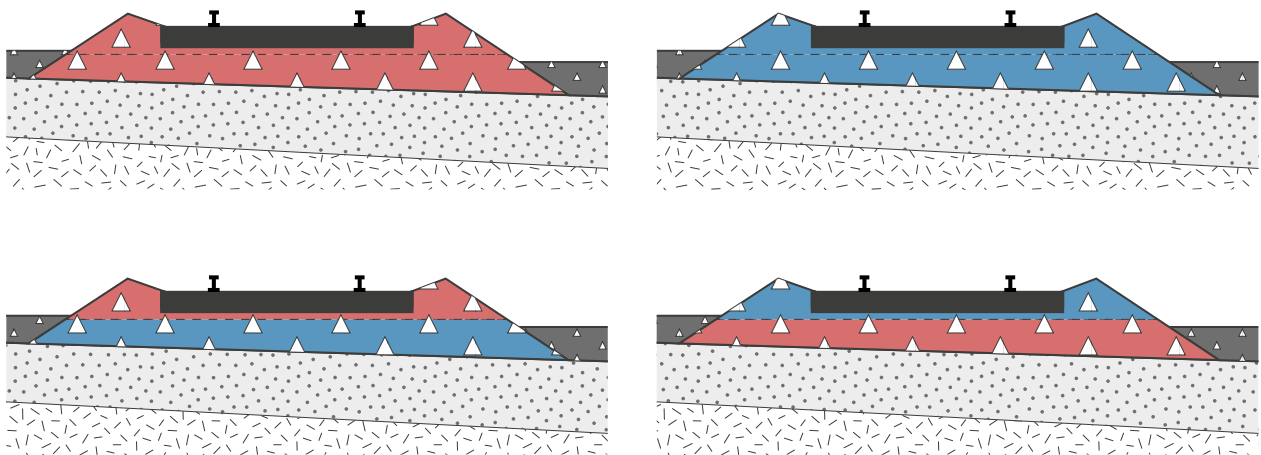
RECYCLAGE DE GRANULATS DANS LA CONSTRUCTION FERROVIAIRE

Lors de la construction d'une ligne ferroviaire, le ballast est généralement posé en deux passages. Une couche inférieure de ballast ferroviaire est d'abord déversée et compactée sur l'infrastructure, puis les rails avec les traverses sont placés dessus. Une couche supérieure de ballast est posée ensuite. Différentes qualités de ballast ferroviaire peuvent être appliquées selon les charges subies par le tronçon traité et selon le type de rénovation de la voie (ballast de classe I, II ou RC; voir la Fig. 9). Le ballast RC utilisé est, soit issu du criblage sur place lors du renouvellement de la voie, soit il s'agit d'un ballast issu de sources externes (ex-situ).

Mode de pose du ballast > 15000 TBC



Mode de pose du ballast < 15000 TBC



- Ballast ferroviaire de classe I (issu de sources primaires)
- Ballast ferroviaire de classe II (issu de sources primaires)
- Ballast ferroviaire RC (traité sur place ou ex-situ)

Fig. 9: Coupe à travers un corps de voie, avec différents modes de pose de ballast ferroviaire sur des tronçons soumis à différentes charges. Les charges sont mesurées en tonnes brutes complètes (TBC).
Source: CFF.

D'après l'expérience acquise par les CFF, des machines modernes de construction et d'assainissement de voies permettent de valoriser ou de recycler sur le chantier même plus de 50% du ballast ferroviaire retiré, lors de certains travaux de rénovation de voies¹⁶. Le ballast ferroviaire retiré de la voie est criblé sur place et, en fonction du type de machine, l'angulosité des grains est parfois rétablie. Lorsque le ballast ainsi traité sur site répond aux exigences de qualité à satisfaire pour être réutilisé dans la construction ferroviaire, il peut être reposé directement, comme ballast RC, dans le corps de la voie (Fig. 10). D'après l'analyse des flux de matières connus¹⁷ réalisée pour ce rapport, on estime que 0,3 à 0,4 million de tonnes de ballast ferroviaire RC ont été traitées et réutilisées sur place annuellement au cours des dernières années (voir également le chap. 4) [16]. Des chiffres directs et précis concernant le volume de ballast RC utilisé, ou le taux de recyclage ne sont actuellement pas disponibles à l'échelle de la Suisse.



Fig. 10: Réfection de voie avec un train d'assainissement: Les rails et les traverses sont soulevés, le ballast ferroviaire ancien (brun, à l'avant-plan) est retiré et criblé, puis il peut être reposé comme ballast RC en combinaison avec du ballast ferroviaire primaire (gris clair, à l'arrière-plan).
Photo: Keystone SDA.

¹⁶ Travaux de type criblage du ballast [20].

¹⁷ Bases: statistique des ventes des sites d'exploitation de roches dures affiliés à la VSH et acquisitions de ballast primaire par les entreprises ferroviaires. Il n'existe actuellement aucun chiffre à l'échelle de la Suisse concernant la valorisation du ballast RC.

Le ballast ferroviaire, ou les déblais de voie qui ne sont pas réutilisés directement sur place sont évacués du chantier.¹⁸ Puis, selon leur degré de pollution, ils sont triés et traités dans des installations ex-situ spécialisées, en vue d'une éventuelle valorisation ultérieure, conformément aux directives de l'ordonnance sur la limitation et l'élimination des déchets (OLED) [22]. Dans la pratique actuelle, la valorisation des déblais de voie peut générer des granulats RC. Ces granulats sont, en règle générale utilisés comme substitut au gravier dans la production de béton, c'est-à-dire pour une application qui ne requiert pas impérativement les caractéristiques supérieures des graviers issus des roches dures, sauf dans des cas spécifiques (Fig. 11). Le retour de granulats RC, traités ex-situ, dans la construction de voies ferrées ou de routes n'a actuellement lieu que dans une faible mesure. Les quantités effectives n'ont pas pu être déterminées dans le cadre de ce rapport.

Une analyse des filières d'élimination, des procédés de valorisation existants et du potentiel de valorisation du ballast ferroviaire et des déblais de voie a été initiée dans le cadre d'une étude dirigée par l'OFT, intégrée dans le cadre de la révision de la directive sur les déblais de voie prévue en 2022 (voir le chap. 6.4 pour plus des détails).

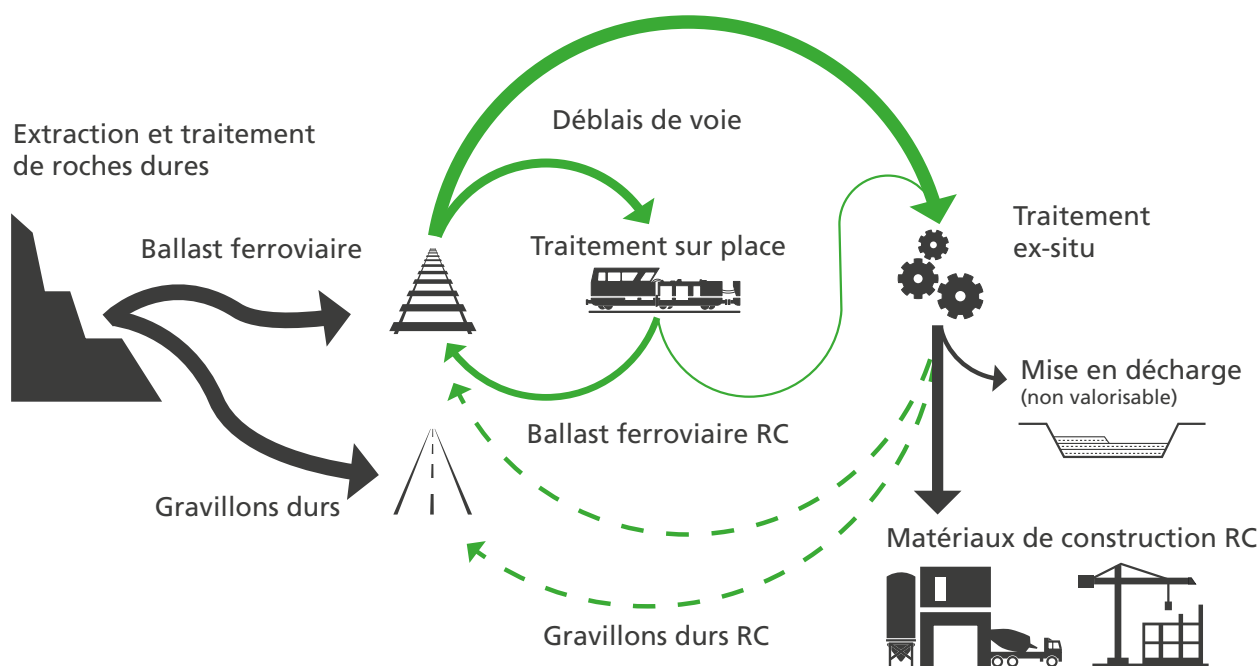


Fig. 11: Représentation des flux et des cycles de matières actuels, avec accent sur la valorisation des déblais de voie. Aujourd'hui, les granulats RC issus des déblais de voie valorisés ex-situ alimentent le marché des matériaux de construction. Le potentiel du retour de granulats RC dans la construction ferroviaire et routière (flèches vertes en traitillé) requiert une investigation approfondie (voir le texte pour plus des détails).

RECYCLAGE DE GRANULATS DANS LA CONSTRUCTION ROUTIÈRE

Le secteur de la construction routière est actuellement en mesure de valoriser les déchets bitumineux issus de l'assainissement des routes. Selon les normes en vigueur, les granulats bitumineux RC obtenus peuvent être réintroduits dans la couche de liaison et dans la couche de base, mais pas dans la couche de roulement. Le projet de révision de l'OLED prévoit

¹⁸ Selon l'analyse des flux de matières réalisée pour ce rapport et le rapport explicatif concernant la révision de la directive sur les déblais de voie [21], on estime que 0,6 à 0,7 million de tonnes de ballast sont générés ainsi annuellement. Une statistique précise n'est actuellement pas disponible au niveau national.

que les matériaux bitumineux de démolition ne soient plus mis en décharge dans un futur proche. La séparation des granulats durs du liant bitumineux par des procédés thermiques, chimiques ou mécaniques fait l'objet de plusieurs projets de recherche et de développement à l'échelle nationale et internationale [23, 24]. Lorsqu'un tel procédé permet de satisfaire aux exigences de qualité requises, les gravillons durs (RC) issus de ce processus de valorisation pourraient être en principe réutilisés dans la construction routière.

3.4 Sites de production de granulats durs d'origine primaire

Des roches dures sont extraites en Suisse depuis plus de cent ans. Comme d'autres secteurs, cette industrie a connu une forte expansion au début du 20^e siècle. C'est ainsi qu'une cinquantaine de sites de production étaient actifs dans notre pays en 1915 [25, 26]. Puis leur nombre a fortement baissé (Fig. 12).

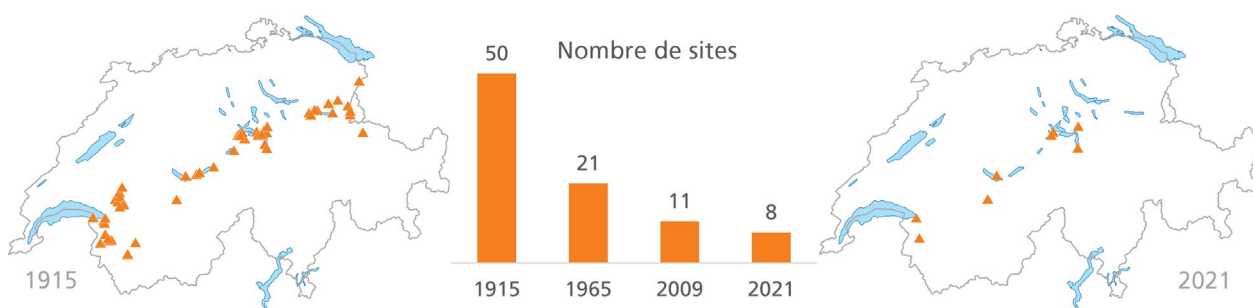


Fig. 12: Nombre de sites d'exploitation de roches dures en Suisse en 1915 et en 2021. Sources: [26] et swisstopo.

Depuis 2014, huit sites d'exploitation de roches dures, tous membres de l'Association suisse des carrières de roche dure (VSH), produisent du ballast ferroviaire de classe I et d'autres granulats durs (Tab. 2). Leur capacité de production individuelle se situe entre 0,1 et 0,5 million de tonnes par année, avec une moyenne de 0,23 million (évaluation statistique des années 2013 à 2018; données: VSH et swisstopo, collecte de données T1/2019). Ces sites sont implantées dans six cantons (BE, NW, SZ, UR, VD et VS) le long d'une bande de gisements de roches dures courant de Vaud et Valais jusqu'en Suisse centrale et orientale, en passant par l'Oberland bernois (Fig. 13 et chap. 5.1). Les sites d'exploitation emploient quelque 300 personnes et sont certifiés par l'Association suisse de surveillance des matériaux de construction pierreux (ASMP) ou par l'Organisme suisse de certification pour produits dans la construction (S-Cert SA).

Quatre des huit sites sont reliés directement au réseau ferré suisse. Trois sites expédient leurs produits par bateau vers un site de stockage intermédiaire relié au réseau ferré. Un site y est connecté indirectement après un relativement court trajet en camion (voir l'annexe A-2).

Outre les huit sites d'exploitation de roches dures affiliés à la VSH, trois sites d'extraction de roches dures et de production de ballast ferroviaire de classe I (et d'autres granulats) sont en cours d'examen en 2021. Cinq sites d'extraction existants produisent du ballast ferroviaire de classe II en plus de gravillons durs et de gravier, l'un étant actuellement à l'arrêt (Tab. 3). Le ballast ferroviaire de classe II est moins crucial pour le fonctionnement de l'infrastructure ferroviaire principale, aussi les sites

concernés ne sont-ils pas traités en détail dans le présent rapport. Cinq sites ne sont plus en activité ou leur planification a été arrêtée (Tab. 4) depuis la publication du Plan sectoriel des transports en 2008 [3]. Le groupe de suivi du présent rapport n'a connaissance d'aucun autre site.

L'annexe A-2 fournit des informations détaillées au sujet des sites de production de ballast ferroviaire de classe I (Tab. 2), assorties d'une description géologique de leurs zones d'extraction de matières premières.

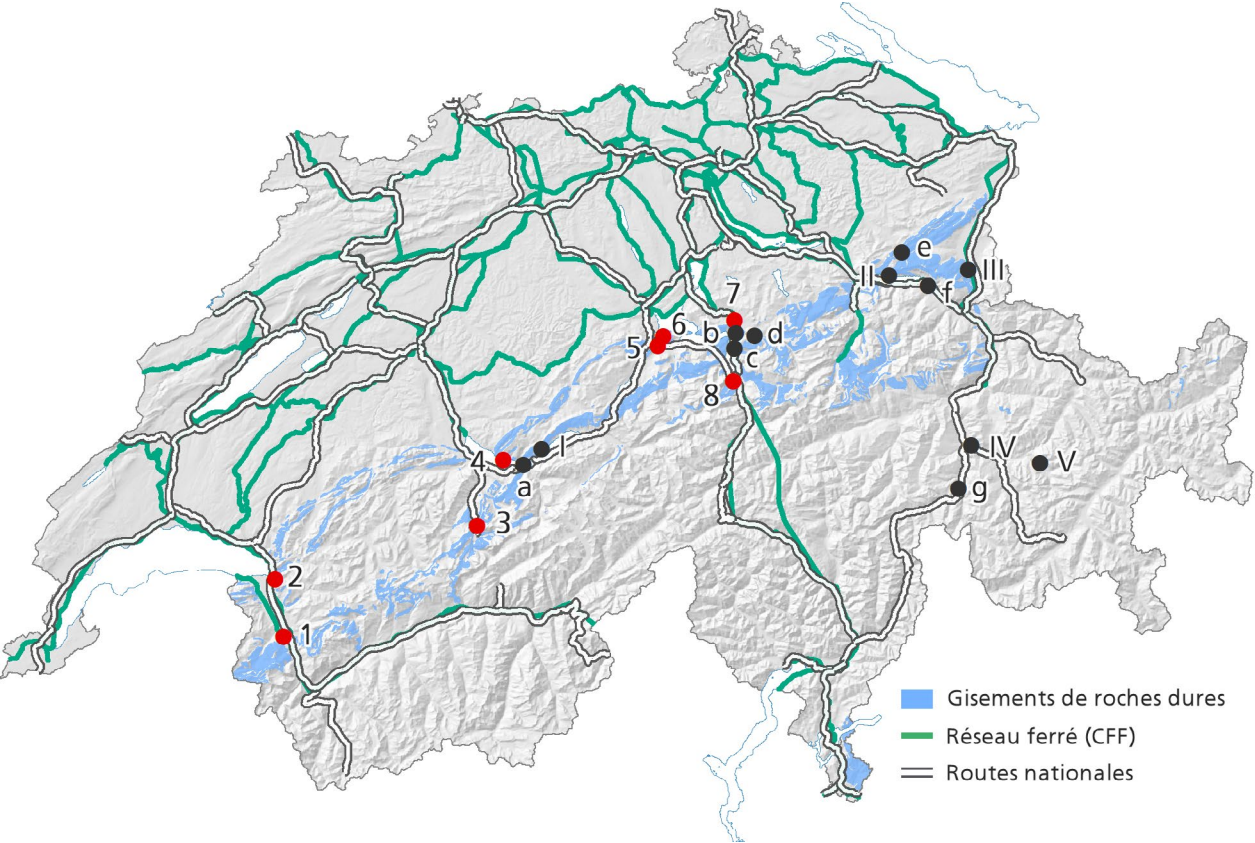


Fig. 13: Sites de production de granulats durs et répartition géographique des gisements de roches dures en Suisse (extrait de la carte géologique de la Suisse au 1:500 000, 2005).

1–8: Sites de production affiliés à la VSH, produisant du ballast ferroviaire de classe I (voir le Tab. 2).

a–g: Autres sites de production, sur lesquels la production de granulats durs est prévue ou sur lesquels des granulats durs sont produits mais pas du ballast ferroviaire de classe I (voir le Tab. 3).

I–V: Sites qui ne sont plus en exploitation ou dont la planification a été arrêtée depuis la publication du Plan sectoriel des transports en 2008 [3] (voir le Tab. 4).

État en 2021. Sources: swisstopo et le FGS.

Tab. 2: Sites de production de granulats durs affiliés à la VSH en 2021, produisant du ballast ferroviaire de classe I (voir la Fig. 13).

#	Sites	Communes	Entreprises
1	FAMSA	Monthey, Massongex (VS)	Fabrique d'Agglomérés Monthey SA (FAMSA)
2	Arvel	Villeneuve (VD)	Carrières d'Arvel SA
3	Blausee-Mitholz	Kandergrund (BE)	SHB Steinbruch + Hartschotterwerk Blausee-Mitholz AG
4	Balmholz	Beatenberg (BE)	AG Balmholz
5	Rotzloch	Ennetmoos, Stansstad (NW)	STEINAG Rozloch AG
6	Kehrsiten	Stansstad (NW)	Holcim (Schweiz) AG
7	Zingel	Schwyz (SZ)	KIBAG Kies Seewen AG
8	Gasperini	Attinghausen (UR)	Hartsteinwerk Gasperini AG

Tab. 3: Autres sites de production en 2021, sur lesquels la production de granulats durs est prévue ou sur lesquels des granulats durs sont produits mais pas du ballast ferroviaire de classe I (voir la Fig. 13).

#	Sites	Communes	Commentaires
a	Därliggrat	Matten bei Interlaken (BE)	Demande de classement en coordination réglée dans le plan directeur, projet d'extraction souterraine en procédure d'octroi de concession. (Secteur n° 9 (BE8) – voir l'étude du potentiel de 2012 [27])
b	Hettis	Ingenbohl (SZ)	En exploitation, production de ballast ferroviaire de classe II et d'autres granulats.
c	Läntigen	Morschach (SZ)	Extraction souterraine autorisée, production actuellement à l'arrêt. Site d'extraction inapproprié pour la production de ballast ferroviaire.
d	Selgis	Muotathal (SZ)	En exploitation, production de granulats (actuellement pas de production de granulats durs). Production de ballast ferroviaire en cours de planification.
e	Starkenbach	Wildhaus-Alt St. Johann, Nesslau (SG)	En exploitation, production de ballast ferroviaire de classe II et d'autres granulats. Extension de la carrière classée en coordination réglée dans le plan directeur pour exploiter une couche de roches dures pour la production de ballast ferroviaire de classe I.
f	Fäsch	Walenstadt (SG)	Extraction souterraine en exploitation, production de ballast ferroviaire de classe II et d'autres granulats.
g	Andeer	Andeer (GR)	En exploitation, production de ballast ferroviaire de classe II et d'autres granulats.

Tab. 4: Sites qui ne sont plus en exploitation ou dont la planification a été arrêtée depuis la publication du Plan sectoriel des transports en 2008 [3] (voir la Fig. 13).

#	Sites	Communes	Commentaires
I	Ringgenberg	Ringgenberg (BE)	Production arrêtée.
II	Schnür	Amden (SG)	Production arrêtée.
III	Campiun	Sevelen (SG)	Inscrit au plan directeur pour information préalable, puis retiré en novembre 2020.
IV	Campi	Sils im Domleschg (GR)	Production arrêtée.
V	Farrirola	Filisur (GR)	Production arrêtée.

3.5 Production indigène, importations et exportations

La consommation suisse de granulats durs issus de sources primaires a été compilée sur la base de la statistique des ventes annuelles de la VSH, puis ajustée avec les membres de la VSH dans le cadre de la collecte de données réalisée par swisstopo entre 2019 et 2020. Les services de l'OFROU et de l'OFT ne tiennent aucune statistique sur les quantités de granulats durs utilisés dans la construction d'infrastructures. Il n'existe pas non plus de données exhaustives concernant les chemins de fer privés. Du côté des utilisateurs, les acquisitions de granulats par les CFF ont été prises en considération. Comme l'Administration fédérale des douanes (AFD) ne

suit pas explicitement les importations et les exportations de granulats durs,¹⁹ les quantités en question ont été extrapolées à partir des données disponibles auprès de la VSH²⁰ et des CFF. Il n'existe donc aucune série temporelle complète des quantités importées et exportées.

Entre 2016 et 2019, la consommation suisse de granulats durs s'est montée à quelque 2,41 millions de tonnes par année. Environ 0,26 million de tonnes ont été importées (estimation). Il n'y a pas eu d'exportations. Les sites suisses d'exploitation de roches dures affiliés à la VSH ont produit environ 2,15 millions de tonnes de granulats durs par année²¹ (Fig. 14), dont la moitié sous forme de granulats durs particulièrement cruciaux pour le bon fonctionnement des infrastructures de transport helvétiques (ballast ferroviaire et gravillons durs).

La consommation de ballast ferroviaire s'est montée, selon une estimation, à 755 000 tonnes par année pendant la période susmentionnée. L'industrie suisse des roches dures a livré annuellement quelque 575 000 tonnes de ballast ferroviaire de classe I (colonnes en rouge dans la Fig. 14), dont trois quarts aux CFF et un quart à des sociétés de chemin de fer privées. La production indigène a ainsi couvert 76 % de la consommation nationale de ballast ferroviaire.

Environ 500 000 tonnes de gravillons durs ont été utilisées, selon une estimation, dans le revêtement des routes cantonales et des routes nationales (colonnes en orange dans la Fig. 14). Avec une production annuelle de quelque 543 000 tonnes, l'industrie suisse des roches dures a entièrement couvert ces besoins.

Du ballast ferroviaire a été importé, principalement par les CFF, mais aussi exceptionnellement par quelques autres sociétés de chemin de fer privées, lors de complications de nature logistique. Le ballast ferroviaire importé provenait du centre et du sud de l'Allemagne, du nord de l'Italie et de l'est de la France. Il a été transporté par train, par bateau et par camion. Des granulats de taille granulométrique moindre ont aussi été importés en faible quantités à partir de sites proches de la frontière.

Les variations des ventes des sites suisses d'exploitation de roches dures affiliés à la VSH, visibles dans la figure 14, s'expliquent principalement par les étapes d'aménagement des infrastructures de transport décidées par le Parlement suisse et secondairement par la conjoncture, comme c'est souvent le cas pour le sable et gravier ou le ciment (voir le rapport sur la sécurité de l'approvisionnement en matières premières concernant les matières premières nécessaires à la fabrication du ciment [29]).

19 Les quantités importées et exportées de granulats durs sont regroupées sans autre précision dans un large éventail de matériaux pierreux, sous la position tarifaire 2517.1000 de l'AFD [28].

20 Un membre de la VSH possède et exploite un site en Allemagne, proche de la frontière suisse, qui alimente le marché allemand et suisse. Les quantités de roches dures transportées en Suisse depuis ce site sont considérées comme des importations dans le présent rapport.

21 Ces quantités incluent quelque 0,5 million de tonnes annuelles tombant dans la catégorie des graves non traitées. Ces graves peuvent être extraits en carrière dans des couches de roches dures de haute qualité, mais aussi (quand cela est possible et nécessaire) dans d'autres unités géologiques de qualité moindre. La provenance des matériaux de cette catégorie n'a pas été relevée précisément auprès des entreprises approchées.

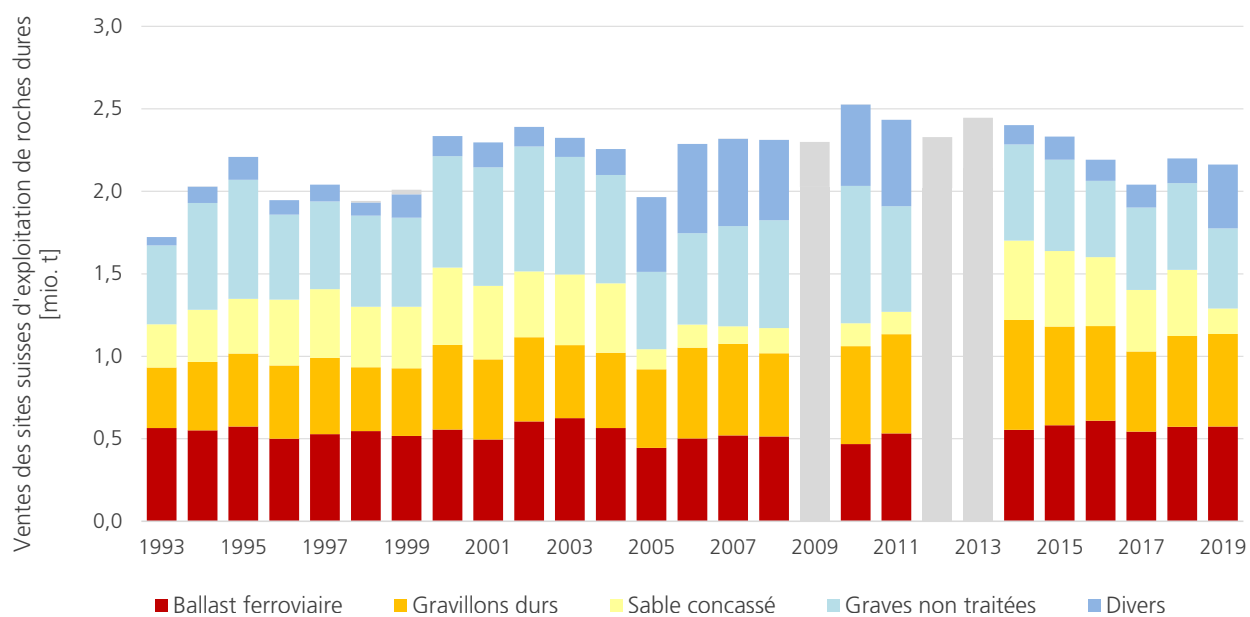


Fig. 14: Ventes des sites d'exploitation de roches dures affiliés à la VSH pour la consommation intérieure. Les quantités produites en 2009, 2012 et 2013 (colonnes en gris) n'ont pas pu être subdivisées du fait d'incohérences dans les données. Données: statistique des ventes de la VSH.

4. Prévisions des besoins en roches dures jusqu'en 2035

«Dans aucun autre pays, la part du rail par rapport à la route n'est aussi élevée qu'en Suisse pour ce qui est du transport transalpin de marchandises, et elle reste orientée à la hausse. [...] Les infrastructures actuelles ne nous permettront pas d'absorber cette croissance. [...] La Confédération va donc continuer à investir de manière ciblée afin de supprimer les goulets d'étranglement routiers et d'augmenter les capacités du rail», a souligné la conseillère fédérale Doris Leuthard, ancienne cheffe du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC), dans le rapport «Perspectives d'évolution du transport 2040», publié par l'ARE en 2016 [15]²².

Les modèles de transport bien établis du DETEC²³, lesquels constituent la base pour les programmes d'aménagement de l'infrastructure ferroviaire et routière indiquent qu'il faut s'attendre à une forte hausse du transport de personnes et de marchandises sur la route et surtout sur le rail au cours des prochaines décennies en Suisse (Fig. 15). Cela est principalement dû à la croissance constante de la population et de l'économie. Dans cette perspective, les voies de communication doivent incontestablement posséder un gabarit de construction apte à supporter des charges importantes. C'est pourquoi les granulats à base de roches dures, composants de la superstructure des routes et des voies ferrées, resteront essentiels à l'avenir.

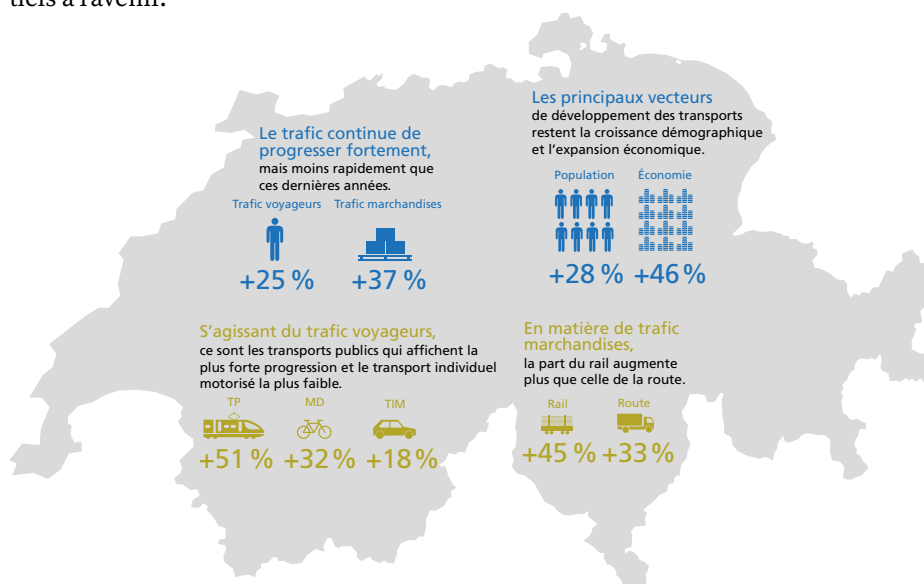


Fig. 15: Perspectives d'évolution du transport 2040: synthèse des résultats des scénarios supramodaux de l'ARE portant sur l'évolution du transport de personnes et de marchandises en Suisse jusqu'en 2040. TP = transports publics (trains, trams, bus), MD = mobilité douce (vélo, marche), TIM = trafic individuel motorisé (véhicules personnels, motocycles). Source de l'image: [15]²², modifié.

22 Les perspectives d'évolution du transport 2050 ont été publiées à la fin de l'année 2021. Celles-ci seront incluses dans une mise à jour de ce rapport.

23 Les modèles de transport du DETEC sont le modèle national de trafic voyageurs (MNTP) et la méthode agrégée pour le trafic marchandises (MAM), qui se fondent sur des données de base et des recensements du trafic actuel.

Mandaté par swisstopo et suivi par des spécialistes de l'OFT, de l'OFROU, de la VSH, des CFF, du FGS et de NEROS, le bureau Emch+Berger a réalisé en 2021 une étude visant à estimer les besoins futurs en roches dures [16]. Cette étude a procédé à une analyse des flux de matières connus et à une estimation des besoins futurs en se basant sur les rénovations prévues de la superstructure des routes à haut débit et des routes principales, de même que d'une grande partie du réseau ferré jusqu'en 2035.

La diminution de l'activité de construction dans le domaine ferroviaire, attendue par les CFF principalement à la suite de la crise COVID-19, a été intégrée dans les prévisions sous la forme de réduction des kilomètres de voies à rénover au cours des années 2020 à 2024. L'impact de la crise COVID-19 sur la construction routière ne fait en revanche l'objet d'aucune donnée. À partir de 2025, les CFF prévoient d'accélérer le taux de renouvellement des voies, avec donc une augmentation de la demande en ballast ferroviaire, pour atteindre le niveau antérieur à la crise COVID-19. Ce chapitre considère donc les prévisions moyennes pour la période de 2025 à 2035.

L'information de base utilisée et la méthode appliquée dans le cadre de la prévision des besoins en granulats durs sont décrits à l'annexe A-1. Les principaux résultats de l'étude sont synthétisés dans les sections suivantes.

Lors de l'extraction et du traitement des roches dures, l'industrie s'efforce de maximiser la production de ballast ferroviaire. Avec les méthodes d'extraction actuelles et en raison des propriétés géomécaniques locales des massifs rocheux, l'expérience montre qu'environ un tiers de la roche extraite peut être utilisé pour produire du ballast ferroviaire. Les fractions granulométriques inférieures (gravillons durs, sable concassé, etc.) sont produites lors des étapes de traitement ultérieures à partir des granulométries qui ne conviennent pas à la production de ballast ferroviaire (voir le chap. 3.2).

L'analyse des flux de matières montre que seul un changement au niveau de l'extraction du ballast ferroviaire est susceptible de modifier le volume de roches dures à extraire. C'est par conséquent surtout la demande en ballast ferroviaire qui détermine actuellement l'extraction de roches dures. Les prévisions concernant les besoins futurs en granulats durs sont donc aussi essentiellement tributaires des besoins en ballast ferroviaire. Ceux-ci dépendent en premier lieu des rénovations régulières de tronçons ferroviaires, liées étroitement à la fréquence d'utilisation actuelle et prévue des voies, à leur âge et à leur état. Si la demande en gravillons durs et/ou en granulats de taille inférieure devait croître pour une demande en ballast ferroviaire constante, l'industrie serait en mesure de remédier à cette situation en accroissant la production de ces fractions ou, dans le cas extrême, en concassant du ballast ferroviaire disponible sur site.

Une partie des besoins en ballast ferroviaire est couverte depuis plusieurs dizaines d'années par l'utilisation de ballast ferroviaire RC produit sur les chantiers (voir le chap. 3.3). Étant donné que l'utilisation de ballast RC produit ex-situ est actuellement faible, la prévision de la demande ne prend en compte que l'utilisation de ballast RC traité sur les chantiers d'assainissement de voies ferrées.

D'après ces prévisions, les besoins totaux en granulats durs d'origine primaires se montent à 2,43 millions de tonnes en moyenne par année pour la période de 2025 à 2035. Un petit tiers est constitué de graves non traitées (surtout utilisées comme matériaux de coffrage et de nivellement), qui ne doivent pas obligatoirement provenir de couches de roches dures de haute qualité, mais, pourraient être extraites si nécessaire depuis des unités géologiques de qualité moindre.

Les besoins totaux prévus en ballast ferroviaire destiné à l'entretien et à la rénovation des voies ferrées se montent à un peu moins de 1,2 million de tonnes par année. En admettant que la part de ballast ferroviaire RC traité sur les chantiers d'assainissement des voies reste la même, environ 30% de la demande totale sera couverte ce processus de recyclage. C'est ainsi que quelque 780 000 tonnes de ballast ferroviaire de classe I doivent être fournies chaque année par des sites de production de granulats durs primaires dans les conditions actuelles (Fig. 16). La demande légèrement plus élevée en ballast de classe I par rapport à la moyenne des années passées s'explique par l'augmentation du taux de renouvellement de l'infrastructure ferroviaire des CFF (230 km par an à partir de 2025 contre 215 km par an de 2016 à 2019, voir annexe A-1.1).

Les besoins en gravillons durs destinés à l'entretien et à la rénovation de la couche de roulement des routes à haut débit et des routes principales se montent à environ 500 000 tonnes par année (Fig. 17). L'utilisation de gravillons durs issus du recyclage, qui favoriserait la diminution des besoins en gravillons durs d'origine primaire, est en développement (voir les chap. 3.3 et 6.4).

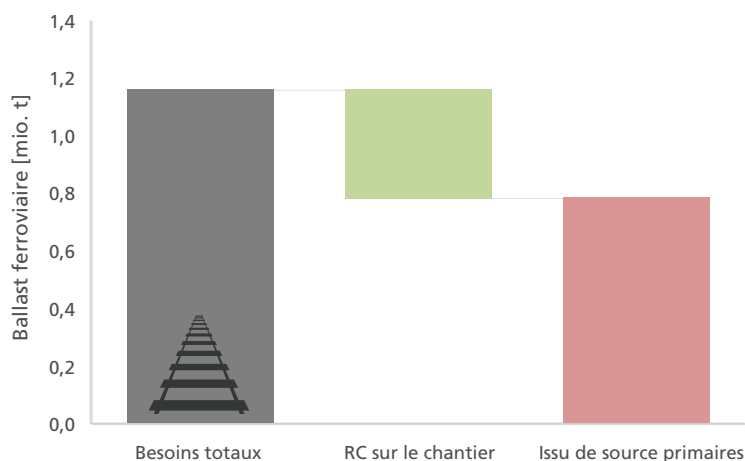


Fig. 16: Prévission des besoins totaux en ballast ferroviaire de classe I (moyenne pour 2025–2035), avec la part de ballast RC issu du recyclage sur les chantiers d'assainissement des voies et de ballast issu de sources primaires.

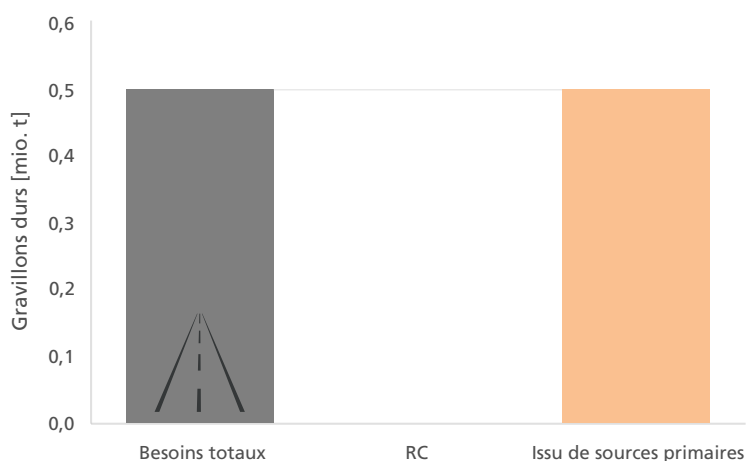


Fig. 17: Prévission des besoins en gravillons durs pour la couche de roulement des routes cantonales et nationales (moyenne pour 2025–2035). Étant donné que le processus de recyclage de gravillons durs est en cours de développement, la couverture des besoins prévus considère uniquement les gravillons durs issus de sources primaires.

5. Approvisionnement de la Suisse en granulats durs indigènes

Un approvisionnement stable en ballast ferroviaire et en gravillons durs requiert essentiellement un accès assuré sur le long terme à des gisements de roches dures de qualité appropriée. Du point de vue géologique, la Suisse dispose de grands gisements de matières premières aptes à produire des granulats durs, qui pourraient théoriquement couvrir l'intégralité de ses besoins futurs en ces matériaux. Leur vaste répartition ne signifie toutefois pas qu'elles sont aussi accessibles, exploitables du point de vue économique et technique et susceptibles de faire l'objet d'une autorisation. Il arrive souvent que des sites d'extraction existants ou potentiels se superposent à des zones d'exclusion ou de protection ou soient situés à des endroits difficilement accessibles ou dans des régions touristiques (voir la Fig. 21 au chap. 6.1 et l'annexe A-2 pour des détails). L'accès à long terme à des gisements appropriés peut être entravé par la superposition d'intérêts économiques, écologiques ou territoriaux (voir le chap. 6.1). En raison de ces conflits entre intérêts divergents, parfois difficiles à résoudre, quelques procédures d'autorisation d'extraction ont été portées devant des tribunaux [4, 30].

5.1 Caractérisation, localisation et qualification des gisements de roches dures

La répartition spatiale des gisements de roches dures en Suisse a été recensée et décrite dans le cadre de différentes études entre 2005 et 2012 [26, 31]. Cette importante base de données géologiques sur les matières premières est actuellement maintenue et complétée sur mandat de swisstopo par le Groupe Géoressources suisses auprès de l'EPF Zurich (FGS) à l'aide des feuilles nouvellement publiées de l'Atlas géologique de la Suisse 1:25 000 et de méthodes modernes d'analyse spatiale.

Dans le cadre de l'assurance qualité du ballast ferroviaire et en collaboration avec des spécialistes indépendant(e)s, les entreprises ferroviaires évaluent puis certifient périodiquement leurs fournisseurs. Le but est de vérifier que les gisements de matières premières et les installations de production soient en mesure de livrer du ballast en qualité et en quantité requises (en particulier le ballast de classe I).

Les roches dures actuellement exploitées en Suisse sont principalement du calcaire siliceux et du grès du flysch. Viennent ou venaient s'y ajouter du grès de la molasse subalpine et du grès glauconieux. Le granite et le gneiss, abondants en Suisse, ne satisfont souvent pas aux exigences techniques strictes des normes et des réglementations. Ces roches contiennent habituellement une grande part de minéraux feuilletés (micas), ce qui affecte négativement leur résistance. Les pays voisins utilisent principalement des roches magmatiques finement grenues²⁴ comme roches dures. Selon les connaissances actuelles, de telles roches ne sont présentes en Suisse dans la qualité requise qu'en quantités inexploitable ou

²⁴ Basalte, rhyolite, microgranite, diorite, dolérite.

à des endroits difficilement accessibles et mal desservis. Dans le cadre de recherches au sujet des gisements de roches dures en Suisse, le Service géologique national de swisstopo et le FGS étudient, conjointement avec des spécialistes, si d'autres formations pourraient être prises en considération comme roches dures à l'avenir.

Le calcaire siliceux et le grès du flysch se trouvent surtout dans les Alpes septentrionales, entre le lac Léman et le lac de Constance et dans le sud du Tessin. Le calcaire siliceux, stratifié et finement grenu et comprend typiquement 15 à 65% de quartz. Une partie de ce quartz forme une matrice dense responsable de la grande résistance de cette roche [26]. De nombreux gisements de calcaire siliceux sont relativement bien documentés cartographiquement et ne contiennent qu'une petite proportion de lithologiques de faible qualité. En Suisse, du calcaire siliceux est actuellement extrait sur six sites (Arvel (VD), Blausee-Mitholz (BE), Balmholz (BE), Rotzloch (NW), Kehrsiten (NW) et Zingel (SZ)).

Du grès du flysch est actuellement exploité sur deux sites (FAMSA (VS) et Gasperini (UR)). Ce grès stratifié, compact, comprend plus de 40% de quartz et une matrice calcitique [32]. Sa teneur en quartz relativement élevée et sa matrice calcitique lui confèrent une grande résistance. Les gisements de grès du flysch sont souvent associés à des roches argilo-marneuses. La roche extraite n'est donc pas exploitable en totalité comme roche dure.

L'épaisseur et la qualité de ces gisements de roches dures peuvent varier largement à l'échelle régionale et locale. On n'en connaît que peu, si ce n'est pas du tout, hors des sites d'extraction répertoriés.

L'annexe A-2 fournit des informations détaillées au sujet des sites suisses d'extraction de roches dures en tant que matières premières.

5.2 Rétrospective sur la sécurité de l'approvisionnement en granulats durs

La Suisse a déjà été confrontée à des pénuries de granulats durs de différentes origines au cours des dernières décennies. Les parties concernées²⁵ ont élaboré conjointement une déclaration d'intention pour résoudre les conflits en cause [33, 34]. En 2007, l'ARE a analysé l'approvisionnement de la Suisse en granulats durs et montré que les besoins ne pouvaient être couverts intégralement par des sources indigènes que jusqu'en 2009, après quoi les importations auraient pu devenir de plus en plus nécessaires. Les prévisions de l'époque portaient du principe que le degré d'approvisionnement en granulats durs tomberait à 70% à partir de 2010 et à 45% à partir de 2020 du fait de l'échéance d'autorisations [35]. Les permis octroyés aux projets d'extension d'Arvel (VD), de Rotzloch (NW), de Kehrsiten (NW) et de Zingel (SZ), qui se trouvent à l'intérieur de périmètres figurant dans l'Inventaire fédéral des paysages, sites et monuments naturels (IFP), ont permis d'atténuer la pénurie sur le court terme, mais pas de la résoudre fondamentalement.

Afin de sécuriser l'approvisionnement, l'ARE, incité par l'arrêt du Tribunal fédéral du 13.3.2007 concernant les carrières d'Arvel [4], a adapté en 2008 le Plan sectoriel des transports et les principes régissant l'approvisionnement de granulats durs qu'il contient [3]. Ce document définit l'intérêt national d'un site d'extraction en considérant notamment son apport à la production annuelle de ballast ferroviaire de classe I pour couvrir

²⁵ Producteurs (VSH) et acquéreurs (CFF, OFROU) de granulats durs, organismes de protection de l'environnement (CFNP, OFEV (anciennement OFEFP)) et de l'aménagement du territoire (ARE) ainsi que Commission géotechnique suisse (SGTK, aujourd'hui FGS).

la demande suisse (voir également le chap. 6.1). Cette approche est poursuivie lors de la mise à jour du Plan sectoriel des transports, partie Programme «Mobilité et territoire 2050» en 2021 [5].

Suite à la jurisprudence du Tribunal fédéral concernant le cas d'Arvel, un large panel d'experts²⁶ a évalué les zones potentielles d'extraction de roches dures situées hors des périmètres figurant dans l'IFP et publié cette étude du potentiel en 2012 [27]. Il a retenu 34 zones potentielles, sur 120 sites examinés, en appliquant différents critères (économie, écologie et politique) et en estimant l'aptitude potentielle de ces gisements de roches dures à la production de granulats durs. En 2012, le panel d'experts de l'étude et les cantons et les communes concernés ont conclu que les conditions-cadres étaient adaptées à la planification de projets concrets dans seulement trois des 34 domaines potentiels identifiés (Fig. 18):

1. Zone potentielle n° 6: Mitholz / Kandergrund
(BE, projet «greenfield»)
2. Zone potentielle n° 9: Därliggrat / Unterseen
(BE, projet «greenfield»)
3. Zone potentielle n° 21: Attinghausen
(UR, extension du site d'extraction existant)

Neuf ans après l'étude de 2012, la situation concernant ces trois zones potentielles peut être résumée comme suit:

1. D'après l'Office des eaux et des déchets du Canton de Berne, l'ouverture d'un nouveau site d'extraction à Mitholz / Kandergrund est difficilement envisageable actuellement. Cela est surtout dû à l'évacuation prévue de l'ancien dépôt de munitions de Mitholz [36] et à l'ouverture prévue d'un chantier, destiné à l'équipement technique du deuxième tube du tunnel de base du Lötschberg, entre Mitholz et Adelrain [37]. Une extension du site d'extraction existant de Blausee-Mitholz fait l'objet d'une demande, mais elle n'est pas classée en coordination réglée dans le plan directeur.
2. Au Därliggrat, une première demande concernant un projet d'extraction à ciel ouvert (projet ROCA) a été retirée en 2014 à cause de fortes oppositions émanant de différents groupes d'intérêts. Un projet d'extraction en souterrain sous le Därliggrat est actuellement au stade de la procédure d'octroi de concession et il fait l'objet d'une demande de classement en coordination réglée dans le plan directeur. Sa faisabilité technique et économique n'a pas encore été établie (voir également le chap. 6.3).
3. À Attinghausen, aucune extension n'est actuellement classée en coordination réglée dans le plan directeur. Le site d'extraction existant de Gasperini AG dispose actuellement d'importantes réserves dont l'extraction est autorisée.

Pour les 31 zones potentielles restantes, l'évaluation de l'époque indiquait que l'exploitation de matières premières n'était pas viable, principalement pour des raisons politiques, économiques et écologiques. Si, dans un avenir proche, la situation de l'approvisionnement en granulats durs devait se dégrader de manière significative (voir le chap. 5.3) et/ou si les conditions-cadres devaient changer, les critères définis dans l'étude de potentiel pourraient alors être réévalués sur la base de la situation initiale actuelle.

²⁶ ARE, OFROU, OFEV, OFT, swisstopo, SGTK, Conférence suisse des aménagistes cantonaux (COSAC), Association suisse pour l'aménagement national (VLP-ASPAN, actuellement EspaceSuisse), VSH, CFF, FP et Pro Natura.

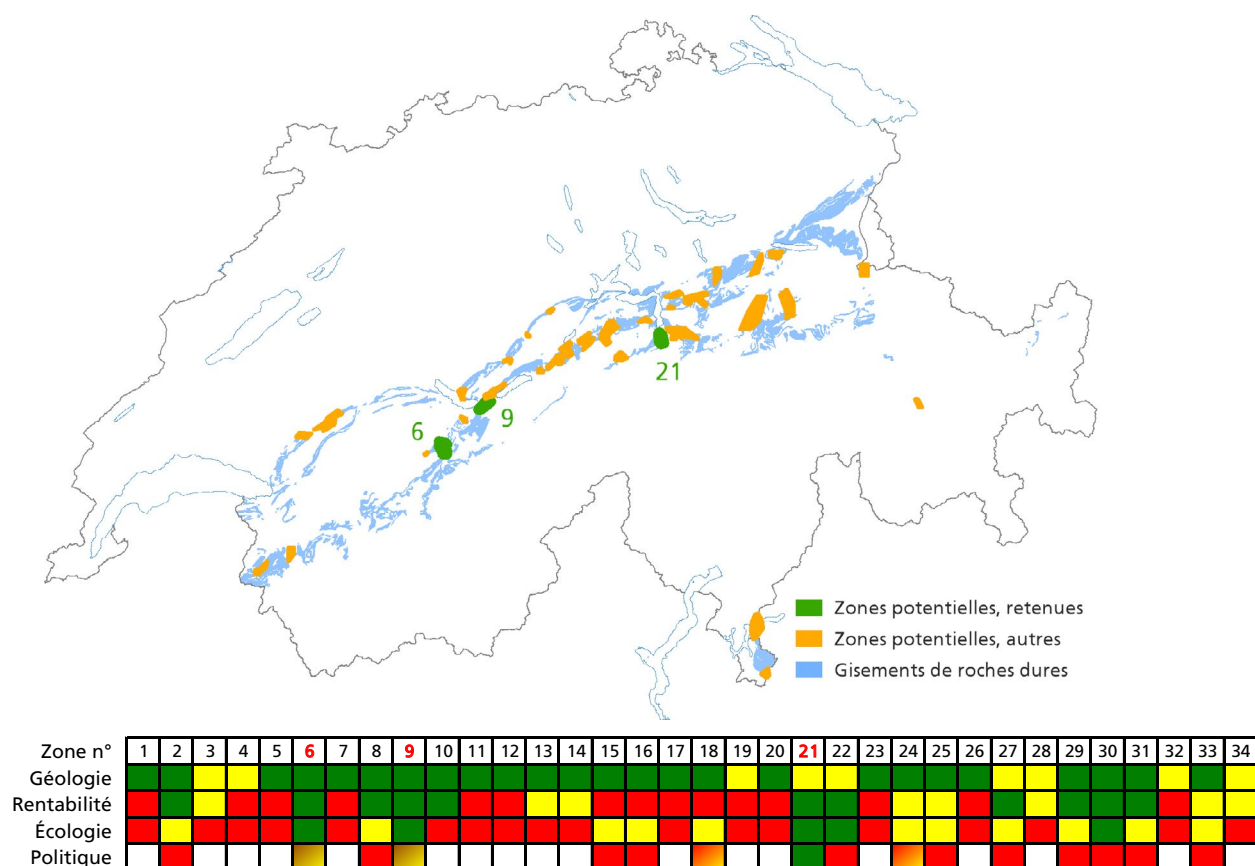


Fig. 18: Zones potentielles d'extraction de roches dures situées hors des périmètres figurant dans l'IFP, tirées de l'étude du potentiel de 2012 [27] (carte) et synthèse de leur évaluation en fonction des critères géologie, rentabilité, écologie et politique (tableau: vert = potentiel élevé; jaune = situation méritant d'être examinée; rouge = site inapproprié; le passage d'une couleur à l'autre indique une transition entre catégories). Les trois zones proposées pour faire l'objet d'investigations plus détaillées suite à l'évaluation (nos 6, 9 et 21) sont indiquées en vert sur la carte (voir le texte pour plus de détails).

5.3 État actuel de l'approvisionnement en granulats durs primaires

Début 2019, swisstopo a visité les sites d'exploitation de roches dures les plus importants pour la Suisse (voir le Tab. 2 au chap. 3.4) et collecté les informations nécessaires à l'établissement du présent rapport. Les renseignements au sujet du statut des autorisations d'extraction ont été tirés des plans directeurs publiés par les cantons concernés. Les sites d'extraction cruciaux pour l'approvisionnement de la Suisse ont été examinés avec les représentantes et les représentants des cantons. Ces informations ne peuvent être présentées que sous une forme agrégée pour des raisons de protection des données. Les termes «ressources» et «réserves» utilisés ici sont définis et leur application est expliquée au chapitre 2.1.

Les quantités annuelles de ballast ferroviaire et de gravillons durs pouvant être produites à partir des réserves et des ressources rapportées par les entreprises ont été estimées en considérant les délais actuels d'octroi des autorisations d'extraction des matières premières nécessaires et la production annuelle moyenne de 2013 à 2018²⁷. Ainsi l'accent est mis sur ces granulats qui sont importants pour le bon fonctionnement des infrastructures de

²⁷ Dans deux cas, c'est la production annuelle future prévue par les entreprises qui a été appliquée, à cause de la baisse de production des cinq dernières années, due à des difficultés techniques ou en relation avec les processus d'autorisation d'extraction.

transport. La série temporelle obtenue montre combien de temps l'industrie suisse des roches dures est à même de couvrir les besoins du pays (réserves) ou serait à même de le faire en cas d'autorisation des extensions faisant l'objet d'une demande (ressources). Si un site ne dispose plus de réserves ni de ressources, sa contribution à la production totale n'est plus prise en compte (expiration de la durée de validité du permis d'exploitation minière, même si toutes les matières premières n'ont pas été extraites).

Les graphiques suivants (Fig. 19) mettent en regard la production indigène prévue et les besoins en ballast ferroviaire (de classe I) et en gravillons durs destinés à la couche de roulement des routes tirés de sources primaires (voir les Fig. 16 et 17 dans le chap. 4).

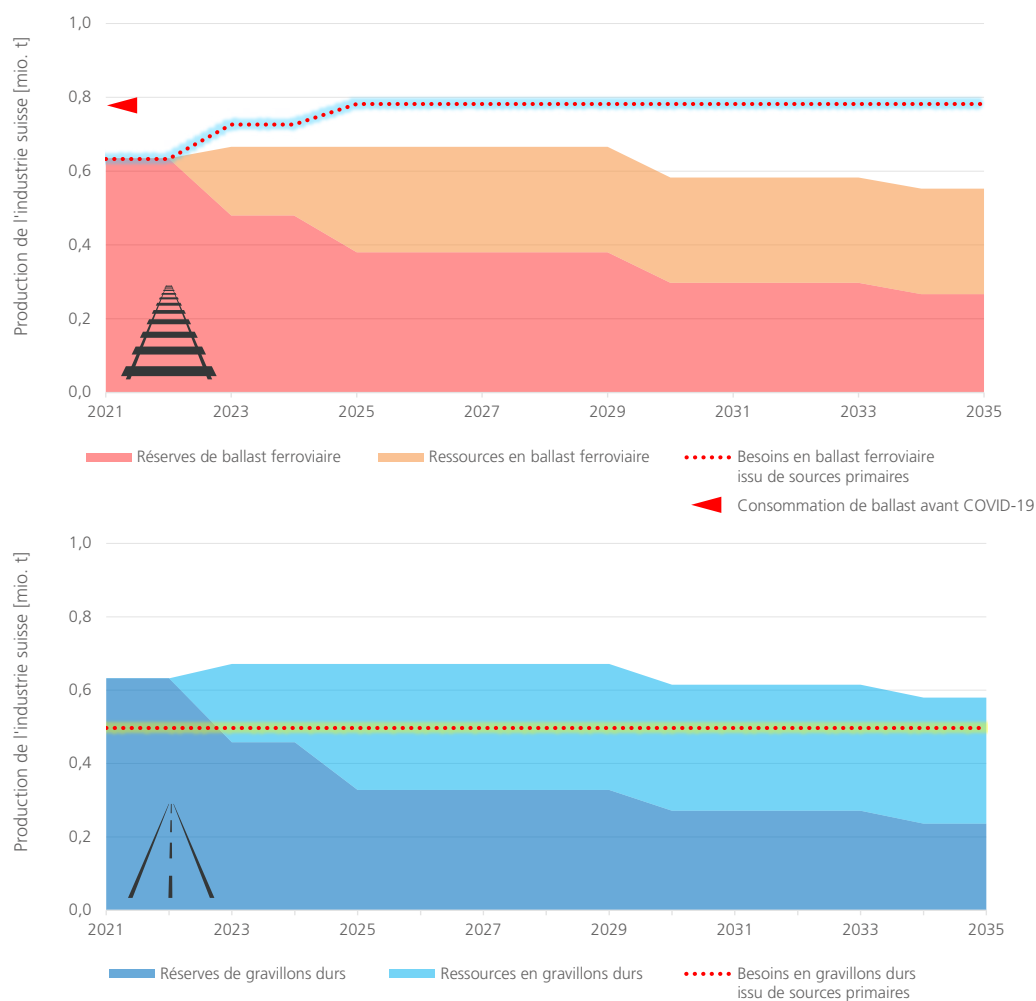


Fig. 19: Prévisions concernant la production cumulée de ballast ferroviaire de classe I (en haut) et de gravillons durs destinés à la couche de roulement des routes (en bas), par l'industrie suisse des roches dures, basée sur les autorisations d'extraction en cours de validité (réserves), en considérant une production annuelle correspondant à la moyenne de 2013 à 2018 et les besoins prévus en ballast ferroviaire et en gravillons durs issus de sources primaires (voir le chap. 4). En raison de la réduction des activités de construction des CFF, principalement déclenchée par la crise COVID-19, la demande prévue de ballast pour les années 2020–2024 est légèrement inférieure par rapport à la demande précédente. À partir de 2025, la demande en ballast devrait augmenter pour atteindre la quantité pré-COVID-19 (flèche rouge). Les surfaces claires illustrent le cas où tous les projets d'extension classés en coordination réglée dans le plan directeur reçoivent une autorisation d'exploitation à temps, si bien que toutes les ressources présentes seraient transformées en réserves.

Source: swisstopo, recensement du T1/2019, mis à jour au T1/2021, basé sur des informations fournies par les entreprises et les cantons concernés.

Sur la base des réserves de roches dures rapportées par les entreprises et de l'échéance des autorisations d'extraction en cours de validité, il ressort que l'approvisionnement de la Suisse en granulats durs issu de roches dures indigènes pourrait diminuer sur le court à moyen terme, à moins que d'autres réserves ne soient identifiées et autorisées et / ou que le recyclage n'augmente davantage.

L'industrie suisse des roches dures est en mesure de couvrir entièrement les besoins en gravillons durs destinés à la couche de roulement des routes jusqu'à fin 2022, en admettant une production annuelle correspondant à la moyenne de 2013 à 2018. Les besoins en ballast ferroviaire pourraient aussi être couverts par la production suisse jusqu'à fin 2022, mais cela seulement en raison de la diminution à court terme de l'activité de construction dans le domaine ferroviaire des CFF entre 2021 et 2024, principalement imputable à la crise COVID-19 (voir le chap. 4 et l'annexe A-1). Le degré de couverture des besoins suisses par la production indigène pourrait tomber à 66% pour le ballast ferroviaire et à 92% pour les gravillons durs en 2023 si les sites d'extraction classés en coordination réglée dans le plan directeur ne devaient pas recevoir l'autorisation nécessaire à temps et que les projets d'extraction prévus ne puissent donc pas être mis en œuvre (actuellement considérés comme des ressources, surfaces claires dans la Fig. 19). Cette diminution est due à l'épuisement des réserves de roches dures faisant l'objet d'une autorisation dans un grand site de production. Il faut également s'attendre à d'autres reculs dans l'approvisionnement en 2025 et en 2030, à cause de l'échéance de l'autorisation d'extraction dans deux autres sites.

Dans ses stratégies de développement et ses principes d'action, le Plan sectoriel des transports, partie Programme «Mobilité et territoire 2050» déclare que *«un approvisionnement durable en granulats issus de roches dures suisses est garanti afin d'éviter des transports longs et polluants et de permettre la construction et l'entretien d'infrastructures de transport [...] à rendement élevé»* [5]. Si les projets d'extension faisant l'objet d'une demande étaient autorisés avant 2025, cela permettrait de couvrir entièrement la demande en gravillons durs. 92% de la demande en ballast ferroviaire pourrait alors être couverte par la production indigène jusqu'à 2030. Faute de mise en coordination réglée dans les plans directeurs cantonaux et d'autorisation de nouveaux sites d'extraction ou de l'extension de sites existants, l'importation de ballast continuera à être nécessaire (comme avant la crise COVID-19) et pourrait même augmenter. Il n'est actuellement pas possible d'évaluer si une utilisation accrue de granulats durs issus du recyclage existant est envisageable et dans quelle mesure cela pourrait réduire la demande en granulats durs d'origine primaire (voir les chap. 3.3 et 6.4).

6. Défis posés à l'approvisionnement en granulats durs

De nombreux matériaux de construction conformes aux normes et de haute qualité, notamment du ballast ferroviaire et des gravillons durs, sont nécessaires pour satisfaire aux besoins de la société actuelle. Les matières premières minérales requises peuvent être obtenues dans les sites d'extraction suisses et/ou via l'industrie du recyclage de matériaux inertes selon les standards environnementaux et de production usuels dans notre pays. Pour assurer l'approvisionnement de la Suisse en matières premières indigènes sur le long terme, il faut pouvoir repérer au préalable des gisements appropriés, les intégrer dans les procédures de planification cantonales, puis les rendre exploitables à temps. Si les besoins ne peuvent malgré tout pas être couverts par la production indigène, la quantité manquante doit être compensée par des importations.

En Suisse, comme dans l'Union européenne et dans le reste du monde, l'extraction de matières premières est sujette à une superposition d'intérêts en termes de protection et d'utilisation du (sous-)sol. S'ajoutant à une fréquente opposition envers les projets miniers, ces conflits entravent l'approvisionnement à long terme en matières premières dont la société a besoin. Les conflits d'intérêts suscités par l'accès aux matières premières présentes en Suisse et à leur exploitation sont liés en particulier aux zones de protection de la nature et du paysage, à l'agriculture, à la protection contre le bruit, à la forêt, à la protection de l'air, aux infrastructures de transport, aux eaux souterraines et aux intérêts économiques locaux ou régionaux, tels que zones à bâtir, zones industrielles ou tourisme (Fig. 20).

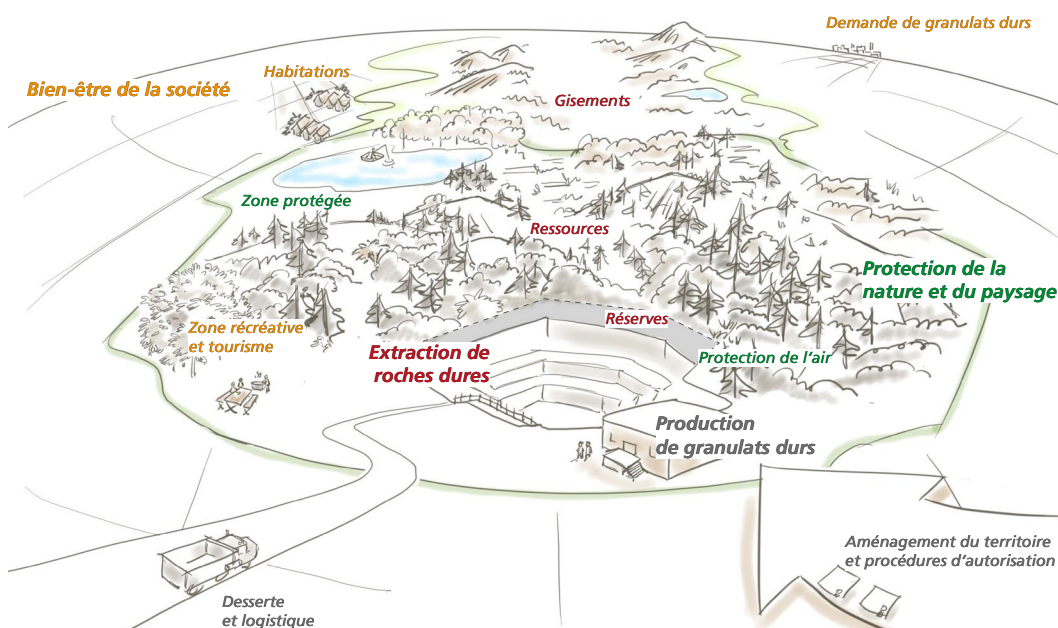


Fig. 20: Représentation d'attentes typiques en termes d'utilisation et de protection du (sous-)sol. Il est souvent inévitable que de tels intérêts se superposent.

Source de l'image: Holcim (Suisse) SA, Reserves and Mining (modifiée).

6.1 Sécurisation de projets d'extraction par l'aménagement du territoire

Les planifications actuelles montrent que les sites potentiellement appropriés pour extraire des matières premières sont souvent sujets à une superposition d'intérêts en termes de protection et d'utilisation du (sous-)sol. Lors de la pesée des intérêts, l'approvisionnement en matières premières disponibles en Suisse est confronté à d'autres intérêts ayant un statut juridique différent. Puisque les délais pour obtenir une autorisation d'extraction peuvent atteindre, d'après l'expérience, entre dix et quinze ans, une planification précoce et détaillée s'avère nécessaire.

Dans le cadre de la procédure d'aménagement du territoire, les différentes attentes en termes de protection et d'utilisation du (sous-)sol liées à un projet d'exploitation sont déterminées, évaluées et confrontées. Les sites d'extraction de roches dures actuels et les plans d'extension de sites existants sont parfois contigus à des zones de protection et d'affectation selon la législation sur l'aménagement du territoire. Celles-ci figurent dans l'Inventaire fédéral des paysages, sites et monuments naturels (IFP) ou dans l'Inventaire fédéral des sites de reproduction de batraciens d'importance nationale (IBN) ou alors ce sont des surfaces d'assolement (SDA), des corridors à faune d'importance suprarégionale, des surfaces boisées, des zones de protection des eaux souterraines ou des parcs d'importance nationale (Fig. 21 et Tab. 5).

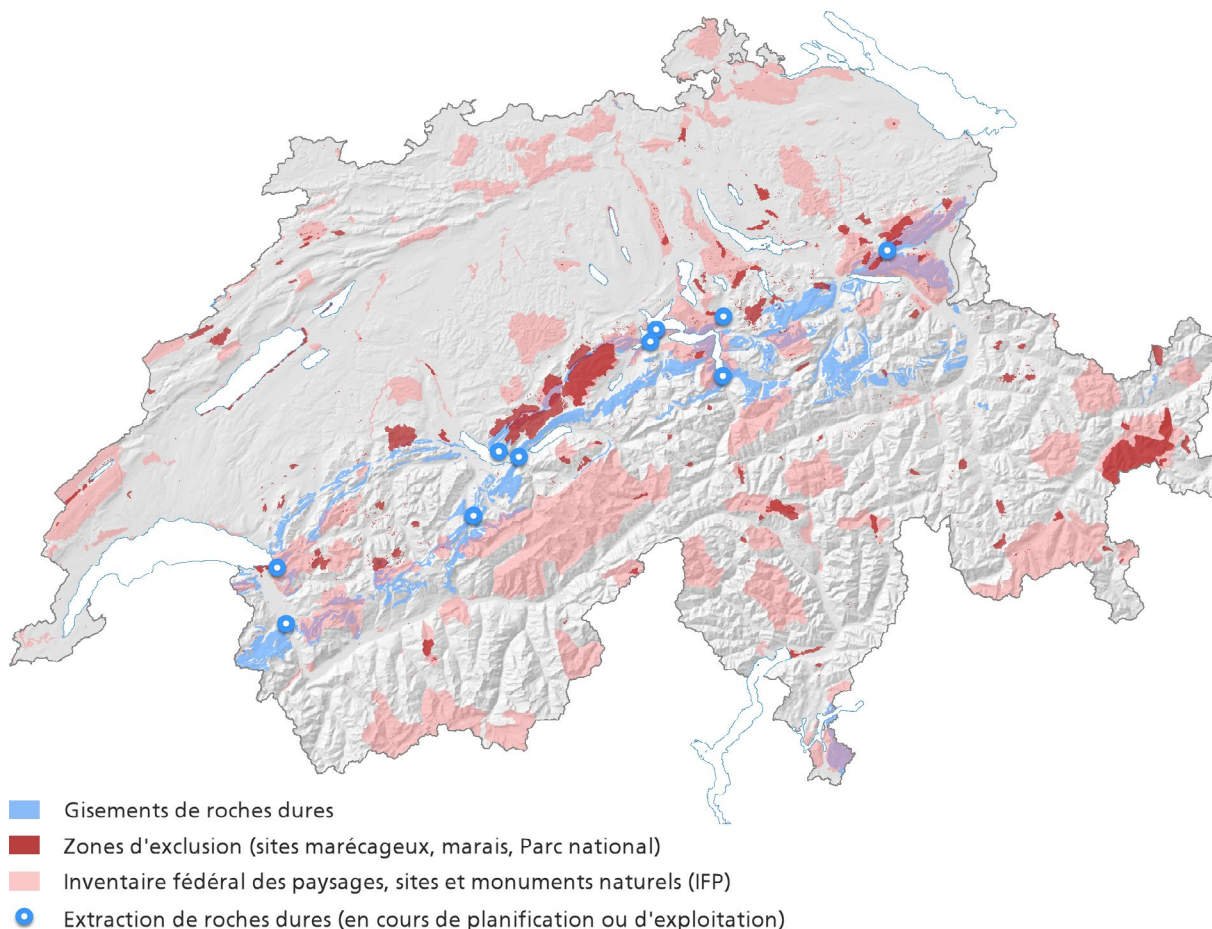


Fig. 21: Gisements de roches dures en Suisse (extrait de la carte géologique de la Suisse au 1:500 000, 2005), avec les sites d'extraction de roches dures actuels et prévus (voir le Tab. 5) ainsi que les zones d'exclusion (selon les art. 23c et 18a LPN) et les périmètres figurant dans l'Inventaire fédéral des paysages, sites et monuments naturels (IFP, art. 5 LPN). Sources: swisstopo, FGS et OFEV.

Tab. 5: Liste des zones superposées aux sites d'extraction en exploitation et des zones en conflit potentiel avec des périmètres d'extraction actuels ou avec des extensions éventuelles de carrières existantes.

Sources: géodonnées de l'OFEV et des portails SIG cantonaux.

Sites	Zones superposées à des périmètres d'extraction actuels	Autres zones en conflit potentiel avec des périmètres d'extraction actuels ou avec des extensions éventuelles de carrières existantes
FAMSA	Aucune superposition	Forêt, SDA, zones de protection des eaux souterraines
Arvel	Zone IFP n° 1515	Forêt, zones de protection des eaux souterraines, Parc naturel régional Gruyère Pays-d'Enhaut Remarque: L'extension de l'extraction est prévue en souterrain.
Blausee-Mitholz	Corridor à faune suprarégional BE-1	Forêt
Balmholz	Aucune superposition	Forêt, zones de protection des eaux souterraines
Rotzloch	Zone IFP n° 1606.6	Site de reproduction de batraciens NW62, forêt
Kehrsiten	Zone IFP n° 1606.4, site de reproduction de batraciens NW61	Forêt, zones de protection des eaux souterraines
Zingel	Zone IFP n° 1606.3	Zone IFP n° 1604, forêt
Gasperini	Aucune superposition	Zone IFP n° 1606.1, site de reproduction de batraciens UR106, forêt, zones de protection des eaux souterraines
Därliggrat	Projet en cours de planification	Zone IFP n° 1508, forêt Remarque: L'extraction est prévue en souterrain.
Starkenbach	Zone IFP n° 1613.2, corridor à faune suprarégional SG-13	Zone IFP n° 1612.4, forêt

Une difficulté majeure à laquelle l'aménagement du territoire est confronté consiste à concilier spatialement différents intérêts, parfois opposés, en termes d'utilisation et de protection du (sous-)sol. Le statut juridique des différents intérêts joue également un rôle important. Selon la nature des intérêts en jeu, un projet d'extraction de matières premières situé dans une zone où d'autres intérêts se superposent n'est pas fondamentalement exclu. Cette situation requiert une pesée appropriée, aux différents échelons, de tous les intérêts revêtant de l'importance. Le Plan sectoriel des transports, partie Programme «Mobilité et territoire 2050» établit que «Un site d'extraction des roches dures est considéré comme d'intérêt national s'il atteint une production annuelle couvrant au moins 5% des besoins suisses en ballast de première qualité ou au moins 10% des besoins bruts du pays en granulats durs d'origine primaire» [5]. Il dit aussi que les projets d'extraction à ciel ouvert ou les extensions de carrières existantes qui touchent des objets protégés d'importance nationale (en particulier les IFP) ne sont admissibles qu'en l'absence d'alternatives extérieures à ces objets. Le Plan sectoriel demande également que l'évaluation des sites fasse l'objet d'une coordination intercantonale. Cette coordination a par exemple pour but d'éviter que la situation en matière d'approvisionnement et les atteintes éventuelles aux objets à protéger ne soient considérées uniquement dans une optique cantonale.

La figure 22 montre de façon simplifiée le déroulement de la procédure, de la recherche d'un gisement approprié à son exploitation. Les durées indiquées correspondent à des estimations basées sur les expériences de l'industrie. Le délai pour obtenir une autorisation d'extraction, de l'établissement du plan directeur au début de l'exploitation de matières premières, peut atteindre dix à quinze ans. Cette estimation n'inclut pas la

durée requise pour évaluer de nouveaux sites ni pour régler des oppositions éventuelles, car le temps nécessaire à ces fins peut varier considérablement.

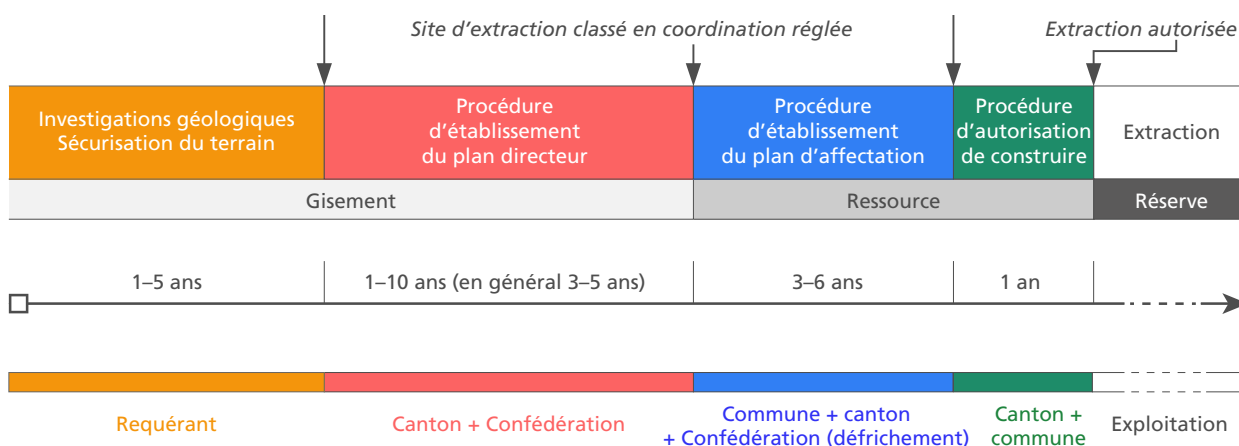


Fig. 22: Représentation simplifiée de la procédure d'autorisation d'un site d'extraction de matières premières en Suisse, avec indication estimative des durées (basée sur les expériences de l'industrie [38]) et mention des instances impliquées dans les différentes étapes (la première citée assure la coordination). Un gisement de matières premières est considéré comme une ressource quand le périmètre d'extraction est classé en coordination réglée dans le plan directeur et comme une réserve quand la procédure d'autorisation de construire, qui suit le plan d'affectation, est achevée (voir les définitions au chap. 2.1).

Le document intitulé «Carrières de roches dures – Guide pour la planification des sites d'exploitation» de 2009 [31] concrétise quelques principes énoncés dans le Plan sectoriel des transports de 2008 et donne des indications en vue de la phase pratique fondées sur un catalogue de critères. Il représente une base de planification sans caractère juridiquement contraignant. Le catalogue des critères contenu dans le guide est conçu comme un outil pratique pour évaluer précocement les intérêts en termes d'utilisation et de protection du (sous-)sol. La première étape consiste à identifier les conflits et les critères d'exclusion inhérents aux projets d'extraction et la deuxième à mettre en évidence les marges de manœuvre.

6.2 Impacts sur le paysage et la biodiversité

L'extraction de matières premières porte atteinte à la nature et au paysage. La remise en culture est donc réglementée dans l'autorisation d'extraction. Afin de compenser les impacts négatifs, une planification et une mise en œuvre minutieuses des activités d'extraction et de remise en culture sont nécessaires.

La bordure nord du massif alpin, avec ses lacs et paysages touristiquement attrayants, est marquée par les puissantes séries rocheuses des Alpes septentrionales. Du fait de leur accès aisé, des emplacements idéaux pour l'extraction de roches dures se trouvent dans les vallées et souvent également le long de lacs de cette région. Mais de nombreuses carrières de roches dures sont situées à l'intérieur ou en bordure de périmètres figurant dans l'IFP ou d'autres objets à protéger (voir le Tab. 5 au chap. 6.1). Il en résulte des conflits entre l'extraction de matières premières et la protection du paysage et des milieux naturels; mais d'autre part, le secteur du tourisme et la population de ces régions s'opposent aussi à de nouvelles dégradations physiques et esthétiques [39].

L'extraction de matières premières à ciel ouvert porte atteinte au paysage existant. L'exploitation d'une carrière le modifie durablement avec

ses fronts de taille marqués, souvent très raides, et à cause de la grande résistance à l'altération de la roche en place. Contrairement à la plupart des gravières et marnières épuisées, les carrières ne sont souvent pas comblées entièrement au terme de leur exploitation. Si l'activité peut être déplacée dans le domaine souterrain, les influences sur le paysage s'en trouvent réduites à un minimum. Mais un site d'extraction de roches dures en souterrain pose de multiples nouveaux défis, autant techniques que liés aux coûts de desserte et d'exploitation (voir la discussion au chap. 6.3).

Un projet minier influence la biodiversité de plusieurs manières. Pendant l'exploitation minière les habitats d'origine, avec leur faune et flore caractéristiques sont perdus. De même, l'interconnexion des écosystèmes est compromise. Si les atteintes portées aux milieux naturels dignes de protection sont inévitables, il y a lieu de les reconstituer avec les mêmes superficie et valeur qu'avant l'exploitation minière. Lorsque les milieux naturels ne peuvent pas être rétablis, ou alors seulement partiellement, ils doivent être remplacés dans l'ampleur requise à un endroit approprié. Ce remplacement selon la LPN (art. 18, al.1ter) sert à contrebalancer les pertes dues aux atteintes. Les pertes subies par la nature, qui peuvent durer jusqu'à la pleine récupération de sa capacité fonctionnelle, doivent être compensées par des mesures de remplacement additionnelles. Des mesures de compensation écologique sont en revanche mises en œuvre pour contre-balancer le mieux possible l'incidence d'une utilisation intensive du (sous-)sol dans un secteur [40].

La remise en culture d'un site d'extraction, les mesures de reconstitution, les remplacements selon la LPN et les mesures de compensation écologique à mettre en œuvre à l'intérieur et à l'extérieur d'un périmètre d'exploitation de matières premières sont fixés dans le cadre de l'autorisation d'extraction. Les effets négatifs sur le paysage et la biodiversité engendrés par les travaux peuvent être atténués en planifiant soigneusement et à temps l'extraction et la remise en culture sur toute la durée de l'exploitation et dans l'optique de l'état final. La réglementation préalable de ces points dans l'autorisation d'extraction garantit que les buts poursuivis par la remise en culture soient atteints après la fin de l'exploitation et assure la réalisation des remplacements à fournir selon la LPN ainsi que les mesures de compensation écologique convenues.

En Suisse, les mesures de reconstitution et les remplacements selon la LPN ainsi que les mesures de compensation écologique à mettre en œuvre à l'intérieur et à l'extérieur d'un périmètre d'extraction de matières premières sont financés par les entreprises exploitantes et leur mise en place est généralement suivie par des spécialistes de la protection de la nature indépendant(e)s.²⁸ Différentes mesures de remplacement selon la LPN et de compensation écologique sont appliquées pendant la phase d'exploitation déjà, dans des secteurs inactifs situés à l'intérieur, voire parfois à l'extérieur du périmètre d'extraction.

28 P. ex. Pro Natura, WWF et Fondation Nature & Économie. La moitié des sites d'extraction de roches dures sont certifiés par la Fondation Nature & Économie. Elle décerne un label à des sites d'extraction aménagés d'une manière proche de l'état naturel, en collaboration avec l'Association suisse de l'industrie du gravier et du béton (ASGB).

6.3 Extraction de roches dures en souterrain: potentiels et limites

Pour limiter au maximum les atteintes au paysage et autres, le déplacement des activités minières dans le domaine souterrain est pris en considération. Mais cette pratique est encore généralement très peu répandue en Suisse, ce qui complique les analyses de faisabilité et de coûts. L'extraction de roches dures en souterrain pose de multiples nouveaux défis, autant techniques que liés aux coûts supérieurs de desserte et d'exploitation par rapport à l'exploitation à ciel ouvert. Il n'existe encore aucun site souterrain destiné à la production de ballast ferroviaire en Suisse. Quelques projets, qui répondront aux incertitudes relatives à la faisabilité de ce procédé, sont cependant en cours de planification.

Le déplacement des activités minières en souterrain vise à diminuer ou éliminer les incidences sur le paysage, la nature et la société (voir le chap. 6.2) est un sujet récurrent, en Suisse comme au plan international. Ce que l'on appelle «invisible mining» est de plus en plus abordée dans le secteur minier et dans des comités internationaux. Divers projets, parfois aussi financés par l'UE, traitent certains aspects de cette thématique en Europe (p.ex. EuroGeoSurveys Projekt I²Mine).

En Suisse, l'extraction de roches dures en souterrain est actuellement envisagée pour les sites suivants:

ARVEL (VD)

Le Grand Conseil du canton de Vaud a approuvé en 2019 un projet visant à étudier l'extraction souterraine sur le site d'Arvel. Pour les autorités cantonales, l'exploitation peut se poursuivre à condition qu'elle se fasse en souterrain et que les impacts sur l'environnement et la population soient réduits. La procédure d'autorisation, qui comprend une étude de l'impact sur l'environnement ainsi que la consultation des services compétents du canton et de la Confédération, a débuté.

LÄNTIGEN (SZ)

Dans le canton de Schwyz, le site de Lünten en est au stade de réalisation depuis 2009. L'entreprise exploitante a obtenu une concession pour extraire des roches dures en souterrain, et les transporter uniquement par bateau. Cependant, la qualité de la roche excavée s'est avérée insuffisante pour la production de ballast ferroviaire de classe I en raison des propriétés mécaniques du massif rocheux et d'un recours à des grandes quantités d'explosifs pour exploiter la roche. Il est ainsi prévu de concentrer la production sur la fabrication de gravier pour le béton et de gravillons durs. La production est actuellement à l'arrêt.

DÄRLIGGRAT (BE)

Dans le cadre de l'étude de 2012, le secteur Därliggrat/Unterseen a été identifié comme étant un site d'extraction potentiel (à ciel ouvert) [27] (voir également le chap. 5.2). Après que la Conférence régionale d'aménagement du territoire de l'Oberland bernois a refusé le projet ROCA à ciel ouvert dans la région de Rugen, une modification de la loi sur la régle des mines du canton de Berne a été proposée et les conditions régissant l'octroi d'une concession pour l'extraction de matières premières en souterrain ont été adaptées en 2019. Le classement du site en coordination réglée dans le plan directeur est en cours d'examen. à l'heure actuelle, un nouveau projet d'extraction en souterrain, sous le Därliggrat, est soumis à une procédure d'octroi de concession pour la production de ballast ferroviaire de classe I et d'autres granulats (voir la Fig. 13 au chap. 3.4). Diverses propo-

sitions de projet de développement et de gestion du site ont été déposées. L'évaluation des projets d'extraction soumis présidant à l'octroi de la concession est en cours.

Les défis sont multiples malgré les efforts consentis au plan national et international pour déplacer l'activité minière dans le domaine souterrain. D'une part, la Suisse ne dispose pas, contrairement aux pays voisins, d'une vaste expérience de l'exploitation souterraine acquise pour des raisons historiques, notamment dans le domaine technique et commercial. D'autre part, les investissements initiaux considérables et les coûts de production élevés, dus à l'accroissement des frais de planification, d'investigation, d'exploitation et de remise en état d'un site d'extraction souterraine, représentent un risque économique supplémentaire relativement grand. L'expérience actuelle a montré que le minage en souterrain nécessite une quantité importante d'explosifs, ce qui tend à produire des granulats de petite taille qui ne répondent pas aux exigences normatives du ballast ferroviaire.

6.4 Potentiels et limites de la préservation des matières premières primaires

Les exigences de qualité très élevées qui doivent être remplies pour la construction ferroviaire et routière et les difficultés d'accès aux gisements de roches dures, imputables aux divers conflits entre la protection et l'utilisation du (sous-)sol, rendent les roches dures rares et précieuses. Il est cependant judicieux de ménager autant que possible ces matières premières pour les générations futures. À cet effet, le ballast ferroviaire retiré lors de l'assainissement des voies ferrées est actuellement traité sur les chantiers mêmes pour y être réutilisé comme matière première secondaire. Il est judicieux de poursuivre les études sur le potentiel du recyclage et de mettre en œuvre les possibilités offertes par ce dernier ainsi que de poursuivre l'optimisation d'autres processus.

Afin de réduire la consommation de matières premières en Suisse, et ainsi de ménager les matières premières primaires naturelles, la Confédération se focalise sur les flux de matières et de substances le long de toute la chaîne de valeur, de l'extraction des matières premières à la conception des produits jusqu'à la gestion des déchets. Dans le cadre de la mesure 5a du Plan d'action économie verte [2], la substitution de matières premières primaires par des matières premières secondaires revêt une grande importance en vue d'assurer l'approvisionnement de la Suisse en matières premières et de boucler les cycles des matériaux. Dans le contexte des matières premières secondaires minérales, les nouvelles aides à l'exécution relatives à l'OLED incitent à utiliser durablement les matières premières naturelles en valorisant dans le respect de l'environnement des déchets tels que déchets de chantier [41] ou matériaux d'excavation et de percement non pollués ou faiblement pollués [42]. Le plan sectoriel des transports, patrie Programme «Mobilité et territoire 2050» [5] établit que les possibilités de recyclage doivent être mises à profit dans la construction et l'entretien des infrastructures, dans la mesure où cela est techniquement possible et pertinent. Avec la directive sur les déblais de voie [20], l'OFT pose des exigences écologiques à la valorisation, au traitement et à la mise en décharge des déblais de voie. L'art.12 OLED oblige à valoriser les déchets conformément à l'état de la technique. Les développements en cours dans les domaines concernés seront suivis et repris dans une mise à jour du présent rapport.

POTENTIELS ET LIMITES DANS LE DOMAINE FERROVIAIRE

Grâce à l'application de techniques modernes, les entreprises ferroviaires sont déjà en mesure de ménager les matières premières primaires en diminuant considérablement les besoins en ballast ferroviaire issu de roches dures d'origine primaire. Lors de l'assainissement de voies, elles traitent le ballast retiré sur ces chantiers et, après traitement, elles le réutilisent comme ballast RC directement sur place. Les procédés mis en œuvre et leur apport dans la couverture des besoins ou dans la conservation des ressources naturelles sont décrits aux chapitres 3.3 et 4.

Un potentiel de réduction supplémentaire de la demande en roches dures primaires pourrait résider dans l'optimisation du processus de recyclage de la part des déblais de voie ou du ballast ferroviaire qui sont actuellement évacués des chantiers (voir la Fig. 11 au chap. 3.3).

Selon l'analyse du flux de matières réalisée dans le cadre de ce rapport ainsi que d'après le rapport explicatif de la directive sur les déblais de voie [21], on estime que 0,6 à 0,7 million de tonnes de déblais par an peuvent être produits lors de l'assainissement des voies ferrées. La part de cette quantité qui est, ou pourrait être effectivement valorisée comme ballast RC, ou gravillons durs RC, dépend de divers facteurs (notamment la qualité ou le degré d'usure, le degré de contamination, les méthodes de déblaiement, etc.). À l'heure actuelle, une statistique de ces volumes n'est pas disponible à l'échelle de la Suisse.

Dans l'optique d'accélérer ultérieurement le bouclage du cycle des granulats durs, il serait décisif de relever à l'échelle nationale les quantités de déblais de voie qui sont évacuées des chantiers et récupérées par les filières d'élimination/valorisation. L'analyse de ces flux, ainsi que le potentiel de valorisation du ballast ferroviaire (et des autres composants des déblais de voie²⁹), fait actuellement l'objet d'une étude dirigée par l'OFT dans le cadre de la révision de la directive sur les déblais de voie prévue en 2022. L'étude tient compte des aspects techniques, économiques, et écologiques autour du processus de recyclage et intègre les expériences pratiques obtenues lors de l'exploitation de chantiers ferroviaires.

Il existe un potentiel d'optimisation pour l'utilisation de ballast ferroviaire de classe I. Le règlement de l'UTP³⁰ l'exige sur les tronçons de voie soumis à une grande charge de trafic, mais il dit aussi que le ballast ferroviaire de classe II et du «ballast usagé, lavé et non pollué»³¹ sont bien appropriés lorsque la charge est moindre (voir la Fig. 9 au chap. 3.3). Il n'est cependant pas rare que du ballast ferroviaire de classe I soit appliqué sur des tronçons soumis à de faibles charges. Une réglementation donnant priorité à l'usage de ballast ferroviaire de classe I sur les tronçons à grand trafic et l'incitation à utiliser du ballast ferroviaire de classe II ou issu du recyclage sur tous les autres tronçons diminueraient les besoins en ballast issu de roches dures de qualité supérieure (classe I) et ménageraient ainsi leurs gisements primaires. Le recours accru à du ballast ferroviaire de classe II conduirait toutefois à déplacer l'extraction de roches dures vers d'autres sites. En raison du manque d'informations complètes sur la répartition des charges de trafic sur le réseau ferré suisse, il n'est actuellement pas possible de quantifier ce potentiel.

Une voie ferrée dite fixe se caractérise par une base en béton sur laquelle les rails et les traverses sont montés. Cette structure ne requérant pas de ballast ferroviaire est utilisée dans certains pays comme alternative

29 Infrastructures, chemises de drainage, banquettes.

30 Règlement RTE 21110 (voir l'annexe A-3).

31 La désignation «ballast usagé, lavé et non pollué» du Règlement RTE 21110 correspond au «ballast RC» selon la terminologie utilisée dans ce rapport. Le terme «ballast RC» n'est pas utilisé dans ledit règlement.

à la construction avec ballast ferroviaire. Le sous-sol doit alors être peu sujet aux tassements, car les tassements inhomogènes peuvent difficilement être aplanis avec ce mode de construction rigide. En Suisse, les conditions géologiques varient souvent à très petite échelle, c'est pourquoi, en règle générale des voies ferrées fixes ne sont posées que dans des tunnels ou sur des ouvrages tels que des viaducs.

POTENTIELS ET LIMITES DANS LE DOMAINE ROUTIER

À l'heure actuelle il n'existe que des informations ponctuelles sur l'utilisation de gravillons durs issus du recyclage dans la construction de routes (gravillons RC). Les gravillons RC pourraient être produits de deux façons: en recyclant ou en concassant la part qualitativement appropriée de ballast ferroviaire, qui est actuellement retiré lors de l'assainissement de voies (voir les sections précédentes), ou en séparant les gravillons durs des déchets bitumineux issus de la réfection des routes. Grâce aux progrès de la recherche, des méthodes pour ce dernier procédé sont en cours de développement [23, 24]. Il reste à vérifier si les granulats RC obtenus de cette façon peuvent répondre aux exigences de qualité pour une utilisation de ces derniers dans les couches de roulement routières.

POTENTIELS ET LIMITES DANS LE DOMAINE DE LA CONSTRUCTION DE TUNNELS

La valorisation des matériaux de percement retirés lors de la construction de tunnels peut générer des matériaux de différentes qualités selon les caractéristiques géologiques et géotechniques locales. D'après la définition de la norme SIA 199, un matériau de classe 1 est utilisable comme matière première pour l'industrie de pierres et terres (p.ex. pour la production de ciment, clinker ou granulats durs). Toutefois cette classification n'est pas comparable à la classification du ballast ferroviaire selon le règlement de l'UTP (classes I et II)³⁰. L'usage de matériaux de percement de qualité appropriée permet quoi qu'il en soit de ménager encore davantage les sources de roches dures primaires. C'est ainsi, par exemple, que des matériaux retirés lors du percement du tunnel de l'Albula ont été traités et utilisés comme ballast ferroviaire dans le réseau des Chemins de fer rhétiques [43].

POTENTIELS ET LIMITES DANS LE DOMAINE DE LA PRODUCTION DE BALLAST FERROVIAIRE

Une approche envisagée par la VSH pour optimiser l'extraction de roches dures consiste à accroître au maximum l'utilisation des roches dures extraites pour produire du ballast ferroviaire. D'après la norme SN 670 110, la proportion de pierres allongées pour la production de ballast doit être de 4% au maximum. Si elle pouvait être montée à 8%, le rejet d'éléments non conformes aux normes lors de la production de ballast diminuerait de l'ordre de 30 000 tonnes par année. Il faudrait alors extraire d'autant moins de roches dures. Cette approche demanderait toutefois une modification de la norme en vigueur.

POTENTIELS ET LIMITES DANS LE DOMAINE DES MATIÈRES PREMIÈRES DE SUBSTITUTION

Dans certains pays (p.ex. états-Unis et Allemagne), des laitiers d'aciérie (déchets issus de la production d'acier) sont parfois utilisés dans la construction ferroviaire et routière [44]. Ces matériaux possèdent en effet des propriétés comparables à celles des roches dures naturelles ou satisfaisant même mieux aux exigences [45]. En Suisse, seuls des aciers non alliés ou faiblement alliés issus de déchets d'acier fondus dans un four électrique

sont actuellement fabriqués. Les laitiers d'aciérie en résultant (LAFE)³² sont transformés en ce que l'on appelle des «granulats LAFE» une fois refroidis. D'après le module de l'OLED relatif à la valorisation des laitiers d'aciérie électrique [46], les granulats LAFE se prêtent, moyennant le respect de certaines conditions environnementales, à un usage en tant que matériau de coffrage ou comme granulats dans la fabrication de béton et d'asphalte. En raison des hautes exigences de qualité il ne semble toutefois actuellement pas possible d'utiliser ce matériau comme ballast ferroviaire, voire comme gravillons durs dans la confection de revêtements routiers.³³

32 D'après une enquête de l'OFEV, jusqu'à 170 000 tonnes de LAFE ont été produits comme déchets de fabrication en 2018 [46].

33 L'aciérie de Gerlafingen (SO) produit par exemple des granulats LAFE qui actuellement ont une taille granulométrique ou une résistance à la fragmentation qui ne répond pas aux exigences requises pour du ballast ferroviaire de classe I ou II (LA = 35 au lieu de LA ≤ 16 respectivement LA ≤ 24) [47].

7. Résumé et conclusions

En vertu du Rapport sur les matières premières minérales [1] et de la mesure 5a pour 2016–2019 du Plan d'action économie verte [2], le Conseil fédéral a chargé swisstopo et l'OFEV d'établir des rapports sur la sécurité de l'approvisionnement en matières premières, traitant des matières premières minérales non énergétiques indigènes, et de les actualiser périodiquement. Le présent rapport s'inscrit dans ce cadre et regroupe des données de base à jour portant sur les roches dures dans une optique nationale. Il fournit ainsi une base pour évaluer l'état de l'approvisionnement de la Suisse en granulats issus de roches dures indigènes.

Les granulats issus de roches dures jouent un rôle important dans les infrastructures de transport suisses. Ces matériaux sont mis en œuvre pour conférer aux routes à haut débit et aux routes principales ainsi qu'à une grande partie du réseau ferré suisse une superstructure performante et apte à supporter de grandes charges. L'augmentation attendue du trafic accroît la pression exercée sur leurs composantes. Les travaux de maintenance et de rénovation qui s'imposent ont impérativement besoin d'un approvisionnement assuré en granulats durs tels que ballast ferroviaire et gravillons durs en qualité et en quantité appropriées, de même qu'en d'autres matériaux de construction. Le Plan sectoriel des transports, partie Programme «Mobilité et territoire 2050» mis à jour en 2021 souligne à nouveau l'importance des roches dures et de la sécurité de l'approvisionnement en granulats durs issus de sources indigènes [5]. L'intérêt national d'un site d'extraction est défini, entre autres, par sa contribution à la production annuelle de ballast ferroviaire de classe I pour les besoins suisses (voir également le chap. 6.1).

Entre 2016 et 2019, la consommation helvétique de granulats issus de roches dures primaires a atteint quelque 2,41 millions de tonnes annuelles, dont environ 755 000 tonnes de ballast ferroviaire et environ 500 000 tonnes de gravillons durs pour le revêtement des routes cantonales et des routes nationales. Quelque 2,15 millions de tonnes ont été fournies par les huit sites suisses d'exploitation de roches dures affiliés à la VSH. Le ballast ferroviaire et les gravillons durs particulièrement cruciaux pour le bon fonctionnement des infrastructures de transport helvétiques y entrent pour la moitié. Environ 0,26 million de tonnes ont été importées pour couvrir le reste de la demande (estimation). Il n'y a pas eu d'exportations.

Le présent rapport prévoit que les besoins en granulats durs se montent à presque 1,2 million de tonnes de ballast ferroviaire et à 500 000 tonnes de gravillons durs par année pour la période de 2025 à 2035. Environ 30% de la demande en ballast ferroviaire est déjà couverte par du ballast RC valorisé sur les chantiers d'assainissement des voies ferrées. Le reste – environ 780 000 tonnes – doit être fourni à partir de sources primaires. Les 500 000 tonnes de gravillons durs encore nécessaires pour rénover les routes à haut débit et les routes principales sont obtenues conjointement aux procédés de production de ballast ferroviaire.

La Suisse dispose de gisements de roches dures en abondance. Ils se trouvent surtout dans les Alpes septentrionales, entre le lac Léman et le lac de Constance et dans le sud du Tessin. La vaste répartition spatiale ne signifie toutefois pas que ces gisements sont aussi accessibles, exploitables du point de vue économique et technique et moins encore susceptibles de faire l'objet d'une autorisation. De nombreux gisements sont situés à haute altitude, et ne sont donc souvent guère accessibles pour des raisons logistiques. Les régions restantes de fond de vallées sont sujettes à divers conflits d'intérêts, ce qui complique et rallonge les procédures d'octroi d'autorisations pour ouvrir de nouveaux sites d'extraction ou pour étendre des sites existants. Cet état de fait influence, aujourd'hui comme par le passé, l'approvisionnement sur le long terme en granulats issus de roches dures indigènes.

L'extraction de matières premières à ciel ouvert a des incidences sur la nature, le paysage et la population locale. Des approches directes et indirectes peuvent être suivies pour ménager les ressources naturelles et pour atténuer les impacts de l'exploitation: (a) déplacement en souterrain de l'extraction et des activités liées et (b) diminution de l'extraction de matières premières primaires en optimisant les flux de matières le long de toute la chaîne de traitement et de livraison et en développant davantage le recyclage. Ces deux approches ont des limites techniques, environnementales et économiques, mais aussi un potentiel, qui à l'heure actuelle n'est pas tout à fait quantifiable (voir les chap. 6.3 et 6.4). Les développements en cours dans les domaines concernés seront suivis et repris dans une mise à jour de ce rapport.

Faute de nouvelles autorisations d'extraction, et à condition que la part de recyclage ou la production totale n'augmente pas davantage au cours des prochaines années, le degré de couverture des besoins suisses par la production indigène tomberait à 66% pour le ballast ferroviaire (74% en 2018) et à 92% pour les gravillons durs (100% en 2018) à partir de 2023. Il faudrait s'attendre à une augmentation des importations de granulats durs (notamment de ballast ferroviaire) pour combler cette lacune. Au cas où les extensions de carrière planifiées ou de nouveaux sites d'extraction ne devaient pas être autorisés, la production indigène de roches dures subirait de nouveaux reculs à partir de 2025 et 2030.

Pour garantir l'approvisionnement à long terme en granulats durs, autant que possible par la production indigène, comme le prévoit le Plan sectoriel des transports, partie Programme «Mobilité et territoire 2050» [5], il faut que trois projets d'extension de carrière, faisant l'objet d'une demande d'autorisation soient approuvés à court-moyen terme. La procédure d'octroi de permis de construire et la planification relative aux trois projets en question sont différemment avancées. S'ils sont approuvés, la production nationale pourrait alors couvrir 92% des besoins nationaux en ballast ferroviaire d'ici 2030 et la totalité des besoins en gravillons durs. Afin de garantir un approvisionnement avec des granulats issus de roches dures indigènes à plus long terme, le classement en coordination réglée d'autres sites dans les plans directeurs cantonaux serait une étape orientée vers cet objectif.

L'utilisation du sous-sol et l'octroi d'autorisations pour extraire des matières premières minérales relèvent principalement de la souveraineté des cantons. La sécurité de l'approvisionnement en matières premières ainsi que l'utilisation ordonnée et durable du sous-sol leur incombent donc. Les intérêts en termes de protection et d'utilisation du (sous-)sol, qui sont souvent touchés de multiples façons par les projets d'extraction re-

quièrent une planification sur le long terme, initiée suffisamment tôt et coordonnée entre les autorités cantonales et les milieux industriels. L'expérience montre que le délai pour obtenir une autorisation d'extraction, de l'établissement du plan directeur au début de l'exploitation des matières premières, peut atteindre dix à quinze ans. Cette durée ne tient toutefois pas compte du temps nécessaire pour régler des oppositions éventuelles.

Compte tenu des données de base recueillies dans le présent rapport et des prévisions qui en découlent, le groupe de suivi, composé de représentant(e)s des milieux économiques et de la recherche, des cantons concernés, d'ONG et de l'administration fédérale, estime judicieux de poursuivre les approches supplémentaires suivantes:

- Le relevé des gisements importants de roches dures à l'échelle nationale doit se poursuivre. Les données seront collectées et mises à disposition par le Service géologique national de swisstopo (Art. 5e OGN – RS 510.624) avec le but d'assister les autorités dans leurs tâches de planification et d'aménagement du territoire ainsi que l'industrie pour l'exploration des matières premières.
- Pour ménager les matières premières primaires, il est important de poursuivre le bouclage du cycle des matières, notamment des granulats durs, dans la mesure où cela est techniquement possible et pertinent. Afin de déterminer le potentiel de réutilisation des granulats issus du recyclage dans la construction de voies ferrées et de routes, il est nécessaire de relever les quantités (de déchet) de ballast et de déblais de voie à l'échelle nationale qui sont évacués des chantiers d'assainissement de voies ferrées.
- Afin de ménager les matières premières primaires, l'utilisation de ballast ferroviaire de classe I doit être privilégiée pour les voies à charge critique correspondantes. Il convient de promouvoir l'utilisation de ballast ferroviaire de classe II et de ballast RC sur les tronçons soumis à des charges moindres.
- Une réévaluation des critères définis dans l'étude de potentiel de 2012 «Evaluation von Potenzialgebieten für Hartsteinbrüche ausserhalb der Landschaften von nationaler Bedeutung (BLN)» [27] devrait être effectuée sur la base de la situation actuelle si l'état de l'approvisionnement en granulats durs devait s'aggraver de manière significative dans un avenir proche et/ou si les conditions cadre devaient changer.

8. Références

- 1 swisstopo (2017): Rapport au sujet de l'approvisionnement de la Suisse en matières premières minérales non énergétiques (Rapport sur les matières premières minérales). – Rap. Serv. géol. natl. *11 FR* (uniquement au format pdf), www.swisstopo.ch.
- 2 OFEV (2016): Économie verte. Mesures de la Confédération pour préserver les ressources et assurer l'avenir de la Suisse. Rapport à l'attention du Conseil fédéral. Office fédéral de l'environnement (OFEV), www.ofev.admin.ch.
- 3 DETEC (2008): Plan sectoriel des transports, partie Programme. Complément Roches dures. Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC), www.are.ch.
- 4 Arrêt (du Tribunal fédéral) 1A.25/2006 du 13 mars 2007.
- 5 DETEC (2021): Plan sectoriel des transports, partie Programme: Mobilité et territoire 2050. Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC), www.are.ch.
- 6 PERC (2017): PERC Reporting Standard 2017. Pan-European Standard for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Mineral Reserves. The Pan-European Reserves and Resources Reporting Committee (PERC), Belgium.
- 7 OFS (2019): Mobilité et transports – Rapport statistique 2018. Office fédéral de la statistique (OFS), www.bfs.admin.ch.
- 8 OFS: Statistique des transports publics. Office fédéral de la statistique (OFS), www.bfs.admin.ch (État du 15. 9. 2021).
- 9 OFROU: Longueurs des routes (STL). Office fédéral des routes (OFROU), www.ofrou.admin.ch (État en 2020).
- 10 SCHMID, A. E. (2017): Discussions actuelles concernant le groupe de normes Types de routes – Un rapport d'atelier. – Route et trafic 2017/12, pp. 19–21, Association suisse des professionnels de la route et des transports VSS, www.vss.ch.
- 11 OFROU (2019): Rapport sur l'état du réseau des routes nationales. Édition 2019. Office fédéral des routes (OFROU), www.ofrou.admin.ch.
- 12 OFT: Réseau ferré (ID 98.1). Jeu de géodonnées de base. Office fédéral des transports (OFT), www.map.geo.admin.ch (État en 10.12. 2017).
- 13 OFS: Prestations du transport de personnes (PV-L). Office fédéral de la statistique (OFS), www.bfs.admin.ch (État du 15. 9. 2021).
- 14 OFS: Statistique du transport de marchandises (STM). Office fédéral de la statistique (OFS), www.bfs.admin.ch (État du 15. 9. 2021).
- 15 ARE (2016): Perspective d'évolution du transport 2040 – Trafic voyageurs et marchandises en Suisse. Office fédéral du développement territorial (ARE), www.are.ch.
- 16 EMCH+BERGER (2021): Prognose des Hartsteinbedarfs bis 2035. Sur mandat de l'Office fédéral de topographie swisstopo, www.swisstopo.ch.
- 17 DETEC: Programme de développement des routes nationales PRODES. Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC), www.detec.admin.ch.
- 18 DETEC: Étape d'aménagement 2035 de l'infrastructure ferroviaire (EA 35). Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC), www.detec.admin.ch.
- 19 KÜNDIG, R., MUMENTHALER, T., ECKARDT, P., KEUSEN, H. R. SCHINDLER, C., HOFMANN, F., VÖGLER, R. & GUNTLI, P. (1997): Die mineralischen Rohstoffe der Schweiz. Schweizerische Geotechnische Kommission SGTK, Zürich.
- 20 OFT (2018): Directive sur les déblais de voie: Planification de travaux d'excavation, évaluation et élimination des déblais de voie. Office fédéral des transports (OFT), www.oftr.admin.ch.
- 21 OFT (2018): Révision de la directive sur les déblais de voie – rapport explicatif. Office fédéral des transports (OFT), www.oftr.admin.ch.
- 22 Assemblée fédérale suisse (2020): Ordonnance sur la limitation et l'élimination des déchets (ordonnance sur les déchets, OLED), RS 814.600, www.admin.ch.
- 23 CSD Ingénieurs SA (2021): Gestion des déchets bitumineux en Suisse. Bilan économique et technique de la situation de l'élimination des déchets bitumineux en Suisse. Sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), www.ofev.admin.ch.

- 24 Gisler Power GIPO: Traitement de revêtements usagés. Peut être trouvé sur: www.gipo.ch → News → 02.07.2021 Traitement de revêtements usagés (État du 7.7.2021).
- 25 GRUBENMANN, U. (1915): Die natürlichen Bausteine und Dachschiefer der Schweiz, III. Tabellarische Übersicht der Resultate der geologischen, petrographischen und technologischen Untersuchungen. – Beitr. Geol. Schweiz, geotech. Ser. 5.
- 26 BÄRTSCHI, C. (2012): Kieselkalke der Schweiz: Charakterisierung eines Rohstoffs aus geologischer, petrographischer, wirtschaftlicher und umweltrelevanter Sicht. – Beitr. Geol. Schweiz, geotech. Ser. 97.
- 27 VSH, SWISSTOPO, ARE, OFEV, COSAC & SGTk (ÉD.) (2012): Evaluation von Potenzialgebieten für Hartsteinbrüche ausserhalb der Landschaften von nationaler Bedeutung (BLN) – Schlussbericht. www.are.ch.
- 28 AFD: Liste des positions tarifaires du tarif douanier électronique Tares. Administration fédérale des douanes (AFD), www.ezv.admin.ch (État du 1.1.2021).
- 29 swisstopo (2020): Matières premières nécessaires à la fabrication du ciment – Besoins et état de l’approvisionnement en Suisse. – Rap. Serv. géol. natl. 13 FR (uniquement au format pdf), www.swisstopo.ch.
- 30 Arrêt (du Tribunal fédéral) 1A.168/2005 du 1er juin 2006.
- 31 ARE, OFEV, COSAC, VSH & SGTk (ÉD.) (2009): Carrières de roches dures – Guide pour la planification des sites d’exploitation. www.are.ch.
- 32 GERBER, M. (1992, non publié): Qualitätsanforderungen an Bahnschotter SBB (W Bau GD 32/89). Schlussbericht zur Eignungsuntersuchung der Gesteinsvorkommen, Eignungsprüfung der Schotter und Beurteilung der Schotterwerke. Geologisches Gutachtenbüro Gerber, Uttligen.
- 33 VLP-ASPAN (2003): Table ronde «Roches dures» – Protection du paysage. Rapport final du médiateur. Aménagement du territoire et environnement VLP-ASPAN.
- 34 VSH, OFEV, ARE, OFROU & CFF (2003): Déclaration de janvier 2003 pour la recherche d’une solution à long terme réglant le domaine conflictuel «Exploitation de roches dures et protection du paysage». www.are.ch.
- 35 DETEC (2008): Plan sectoriel des transports, partie Programme, Complément Roches dures: explications. Département fédéral de l’environnement, des transports, de l’énergie et de la communication (DETEC), www.are.ch.
- 36 Conseil fédéral (2020): Ancien dépôt de munitions Mitholz: le Conseil fédéral décide d’éliminer les résidus de munitions. Communiqué de presse du 7.12.2020, www.admin.ch.
- 37 DETEC (2021, en préparation): Fiche d’objet 11.2 Mitholz. – Plan sectoriel des transports, partie Infrastructure rail. Département fédéral de l’environnement, des transports, de l’énergie et de la communication (DETEC), www.oft.admin.ch.
- 38 NOTHNAGEL, R. & KÜHN, A. (2017): Herausforderungen der Rohstoffsicherung von Baurohstoffen in der Schweiz – Ein Bericht aus Unternehmenssicht. – Swiss Bull. angew. Geol. 22-1, pp. 47–53.
- 39 STALDER, A. (2005): Ein innovatives Konzept für den Hartgesteinsabbau. – Bulletin d’information du forum du développement territorial 2005/3, pp. 30–32. Office fédéral du développement territorial (ARE), www.are.ch.
- 40 KÄGI, B., STALDER, A., THOMMEN, M. (2002): Reconstitution et remplacement en protection de la nature et du paysage. Guide de l’environnement n° 11. Office fédéral de l’environnement, des forêts et du paysage (OFEFP, éd.), Berne, www.ofev.admin.ch, www.bafu.admin.ch.
- 41 OFEV (2020): Déchets de chantier. Un module de l’aide à l’exécution relative à l’ordonnance sur la limitation et l’élimination des déchets (ordonnance sur les déchets, OLED). L’environnement pratique n° 1826. Office fédéral de l’environnement (OFEV), Berne, www.ofev.admin.ch.
- 42 OFEV (2021): 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), L’environnement pratique n° 1826. Office fédéral de l’environnement (OFEV), Berne, www.ofev.admin.ch.
- 43 RHÄTISCHE BAHN: Das Ausbruchmaterial wird wiederverwertet. Peut être trouvé sur: www.albulatunnel.rhb.ch → Albulatunnel → Die Baustelle → Das Ausbruchmaterial wird wiederverwertet (État du 15.6.2021).
- 44 THIENEL, K.-CH. (2017): Eisenhüttenschlacken und Hüttensand. Institut für Werkstoffe des Bauwesens, Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr, München.
- 45 DELGADO, B. G., DA FONSECA, A. V., FORTUNATO, E. & MAIA, P. (2019): Mechanical behavior of inert steel slag ballast for heavy haul rail track: Laboratory evaluation. – Transportation Geotechnics 20.
- 46 OFEV (éd.) (2018): Valorisation des laitiers d’aciérie (LAFE). Un module de l’aide à l’exécution relative à l’ordonnance sur la limitation et l’élimination des déchets (ordonnance sur les déchets, OLED). L’environnement pratique n° 1826. Office fédéral de l’environnement (OFEV), Berne, www.ofev.admin.ch.
- 47 Stahl Gerlafingen AG: Elektroofenschmelzgestein (EOS). Peut être trouvé sur: www.stahl-gerlafingen.com → Energie und Umwelt → Recycling → Schmelzprozess → EOS (Schlacke) (État du 15.6.2021).

- 48 RÖTHLISBERGER, F. (2017, non publié): Carrières d'Arvel S.A. R RTE 21110. Examen d'aptitude du ballast. Petro-Min Experts, Sàrl – GmbH, Dompierre.
- 49 MOJON, A. & GERBER, M. (1984): Geologisch-petrographisches Gutachten über die technischen Eigenschaften und Qualitätsmerkmale des Kieselkalks (Balmholz – Hartfels). Geologisches Gutachtenbüro Mojon & Gerber, Bern.
- 50 GERBER, M. (2015): STEINAG Rozloch AG, 6362 Stansstad. Abbaugbiet Rüti. Eignungsuntersuchung des Gesteinsvorkommens und Eignungsprüfung für Gleisschotter SBB. Geologisches Gutachtenbüro Gerber, Üttligen.
- 51 GERBER, M. (2010): KIBAG Kies Seeven. Steinbruch Zingel, Erweiterungsgebiet. Eignungsuntersuchung des Gesteinsvorkommens für Gleisschotter SBB. Geologisches Gutachtenbüro Gerber, Üttligen.
- 52 FORRER, M. (2019): Geologischer Jahresbericht 2018 – Hartsteinwerk Gasperini AG, Attinghausen. Büro für Technische Geologie AG, Sargans.

9. Termes utilisés

Asphalte

Mélange de bitume ou de liant bitumineux, de granulats et éventuellement d'additifs, notamment utilisé dans la construction routière pour consolider les voies de circulation.

Ballast ferroviaire

Granulat issu de roches dures concassées, de granulométrie comprise entre 32 et 55 mm. La voire ferrée est posée sur un lit de ballast. Vu sa fonction cruciale pour la voie, le ballast ferroviaire doit satisfaire à des critères de qualité sévères, concernant en particulier la résistance à la fragmentation (*coefficient Los Angeles*) et la dureté. Il est subdivisé en ballast de classe I et de classe II.

Ballast RC (ballast ferroviaire recyclé)

Ballast obtenu par traitement d'un ballast de voie ferrée précédemment utilisé (définition selon la norme européenne EN 13450:2002, voir l'annexe A-3).

Besoins (en roches dures)

Estimation de la demande future (en roches dures), basée sur plusieurs variables socio-économiques et commerciales. Les besoins sont axés sur l'avenir, contrairement à la *consommation*.

Coefficient de polissage accéléré (PSV)

La résistance des granulats à l'effet de polissage dû aux pneus de véhicules est déterminée par un essai normalisé – réalisé dans des conditions similaires à celles qui règnent à la surface d'une route (norme SN 670 903-8B / EN 1097-8) – et exprimée par le coefficient de polissage accéléré PSV (*polished stone value*). Cet essai est pratiqué sur des granulats qui traversent un crible de maille 10 mm et sont retenus par une grille à fentes de 7,2 mm. L'échantillon est d'abord soumis au polissage dans une machine à polissage accéléré, puis le niveau de polissage atteint est établi par une mesure d'adhérence. Le coefficient PSV est ensuite calculé à partir des déterminations de l'adhérence. Plus le coefficient PSV est élevé, plus la résistance au polissage est élevée. La couche de roulement des routes à haut débit et des routes principales doit présenter un coefficient PSV > 50 (norme SN 670 103B-NA / EN 13043). (Normes listées à l'annexe A-3).

Consommation (de roches dures)

Valeur basée sur des chiffres historiques de l'utilisation d'une matière première (ou de groupes de matières premières), calculée comme suit: consommation = production en Suisse + importations – exportations. La consommation se réfère au passé, contrairement aux *besoins*.

Couche de protection de la plate-forme (PSS)

Couche de protection placée entre la superstructure de la voie ferrée et le sous-sol, constituée d'un mélange de grave compactée non traitée, qui a pour fonctions principales de répartir les charges, de protéger le sous-sol contre l'action du gel, de séparer le corps de la voie du sous-sol et d'évacuer l'eau.

Essai Los Angeles / coefficient Los Angeles (LA)

Essai selon la norme SN 670 903-2C / EN 1097-2 appliqué pour déterminer la résistance à la fragmentation. Un échantillon de roche placé dans un cylindre rotatif est sollicité par des balles d'acier, qui le soumettent à un effet de broyage et d'abrasion. Après un nombre donné de rotations, l'échantillon de roche est retiré du cylindre à travers un crible de maille 1,6 mm. Le coefficient Los Angeles (LA) correspond au pourcentage massique de l'échantillon de roche qui traverse le crible à l'issue de l'essai. Le ballast ferroviaire de classe I doit présenter un coefficient LA ≤ 16 et celui de classe II un coefficient LA ≤ 24 (selon la norme SN 670 110-NA / EN 13450). (Normes listées à l'annexe A-3).

Gisement

Concentration naturelle de matière(s) première(s) minérale(s) ou autre(s) revêtant un intérêt économique potentiel. Ses caractéristiques géologiques en tant que matière(s) première(s) (en particulier qualité et tonnage) ne sont pas (encore) suffisamment bien étudiées et/ou la faisabilité de l'extraction aux plans économique et technique ainsi que les droits d'accès ne peuvent pas être vérifiés ou n'ont pas (encore) été examinés (voir le chap. 2.1).

Granulats durs – ou – Granulats issus de roches dures

Après l'extraction par minage dans la carrière, la roche dure est concassée, criblée, lavée, et stockée pour la vente selon sa granulométrie. Les granulats (durs) sont les produits issus de ce processus de fabrication (p.ex. ballast ferroviaire ou gravillons durs; voir également le chap. 3.2).

Gravillons durs

Granulats de roche dure concassée, de granulométrie comprise entre 4 et 32 mm, utilisés dans la construction routière (notamment pour confectionner la couche de roulement des routes à haut débit). Vu leur fonction cruciale pour la route, les gravillons durs doivent satisfaire à des critères de qualité sévères, concernant en particulier la résistance à l'effet de polissage dû aux pneus de véhicules (*coefficient de polissage accéléré, PSV*).

Matières premières primaires

Richesses du sous-sol accumulées par des processus géologiques naturels au cours de l'histoire de la Terre (aussi dites matières premières géogènes).

Matières premières secondaires

Matières premières obtenues lors de la valorisation de déchets (recyclage) (aussi dites matières premières anthropogènes). Elles comprennent également le ballast ferroviaire traité sur les chantiers d'assainissement des voies ferrées (voir le chap. 3.3).

Rapports sur la sécurité de l'approvisionnement en matières premières

Rapports mis à jour périodiquement qui fournissent des données de base au sujet de différents groupes de matières premières (primaires et secondaires). Ces rapports indiquent la consommation et l'état de l'approvisionnement de la Suisse et ils donnent une estimation de ses besoins à court et à moyen terme.

Réserve

Gisement de matière(s) première(s) dont les caractéristiques géologiques en tant que matière(s) première(s) sont suffisamment bien connues et dont, contrairement à la *ressource*, la faisabilité de l'extraction est assurée aux plans économique et technique. En outre, les droits d'accès pour procéder à l'extraction sont garantis (en particulier, les rapports de propriété sont clairement établis) et toutes les autorisations nécessaires à l'extraction ont été délivrées (voir le chap. 2.1).

Ressource

Gisement de matière(s) première(s) minérale(s) à fort potentiel économique dont les caractéristiques géologiques en tant que matière(s) première(s) sont suffisamment bien connues, mais dont les droits d'accès et/ou la faisabilité de l'extraction aux plans économique et technique ne sont pas établis ou vérifiés définitivement (toutes les conditions à remplir par une *réserve* ne sont donc pas satisfaites) (voir le chap. 2.1).

Routes à haut débit et routes principales

Les catégories des routes à haut débit et des routes principales, définies par la VSS, comprennent les routes nationales et les routes cantonales (norme VSS 40 040B, voir l'annexe A-3 et [10]).

Surfaces d'assolement (SDA)

Terres arables convenant le mieux à l'agriculture, qui sont protégées par des dispositions spécifiques. Les SDA constituent environ 40% de la totalité des surfaces agricoles de la Suisse. Le Plan sectoriel des surfaces d'assolement du 8 mai 2020 fixe l'étendue minimale des FFF et leur répartition entre les cantons.

10. Abréviations

AFD	Administration fédérale des douanes
ARE	Office fédéral du développement territorial
asr	Association Recyclage matériaux construction Suisse
cemsuisse	Association de l'industrie suisse du ciment
FGS	Groupe géoressources suisses (EPF Zurich)
FP	Fondation suisse pour la protection et l'aménagement du paysage
IFP	Inventaire fédéral des paysages, sites et monuments naturels
LA	Coefficient Los Angeles, décrivant la résistance à la fragmentation
LAFE	Laitier d'aciérie (de four) électrique
LPN	Loi fédérale sur la protection de la nature et du paysage
NEROS	Réseau Matières premières minérales Suisse
OFEN	Office fédéral de l'énergie
OFEV	Office fédéral de l'environnement
OFROU	Office fédéral des routes
OFS	Office fédéral de la statistique
OFT	Office fédéral des transports
ONG	Ordonnance sur la géologie nationale, RS 510.624
OLED	Ordonnance sur la limitation et l'élimination des déchets [22]
PSS	Couche de protection de la plate-forme
PSV	Coefficient de polissage accéléré (polished stone value), décrivant la résistance au polissage
RC	Issu du recyclage (p.ex. ballast ferroviaire RC)
SDA	Surface d'asselement
SECO	Secrétariat d'état à l'économie
SGTK	Commission géotechnique suisse (actuellement FGS)
UTP	Union des transports publics
VSH	Association suisse des carrières de roche dure
VSS	Association suisse des professionnels de la route et des transports

11. Annexes

A-1 Bases et méthode appliquées pour prévoir les besoins

En vertu du principe n° 7 du Plan sectoriel des transports de 2008 [3], qui demande de vérifier périodiquement les bases de l'approvisionnement en granulats issus de roches dures, et dans le cadre de l'élaboration du présent rapport, swisstopo a chargé le bureau Emch+Berger de développer un modèle pour estimer les besoins futurs en granulats durs. Ce modèle a été initié en 2020–2021 sous le suivi du Groupe de travail «Roches dures», composé de spécialistes de l'OFT, de l'OFROU, de la VSH, des CFF, du FGS, de NEROS et de swisstopo.

Pour estimer les besoins futurs en granulats durs, les flux de matières actuels et les besoins futurs tirés des rénovations et des constructions prévues d'infrastructures de transport ont été modélisés. Les principaux résultats sont exposés au chapitre 4. Les éléments de base suivants ont servi à élaborer le modèle:

- Table ronde «Roches dures» – Protection du paysage. Rapport final du médiateur. VLP-ASPAN [33]
- Statistique détaillée des ventes de la VSH, pour 1993 à 2019. VSH
- Acquisitions effectives de ballast ferroviaire par les CFF, pour 2010 à 2019. CFF
- Rénovations de voies réalisées, en kilomètres, pour 2011 à 2019. CFF. 17.3.2020
- Rénovations de voies prévues, en kilomètres, pour 2020 à 2040. CFF. 17.3.2020
- Portail statistique des CFF, Développement durable. CFF. 19.2.2021
- Plan sectoriel des transports, partie Programme – Complément Roches dures. 2008. ARE [3]
- Guide pratique de la voie ferrée – écartement normal/métrique. 1.12.2009/15.11.2011. UTP
- Directive sur les déblais de voie et rapport explicatif concernant la révision de la directive sur les déblais de voie. 22.8.2018. OFT [20, 21]

Comme les services de l'OFROU et de l'OFT ne tiennent aucune statistique au sujet des quantités de granulats durs utilisés dans la construction d'infrastructures, le modèle se fonde principalement sur les données de production détaillées émanant de l'industrie (VSH et sites d'exploitation de roches dures) et sur les acquisitions de matériaux par les CFF. Puisque l'AFD ne recense pas les importations et les exportations de granulats durs, ces quantités ont été extrapolées à partir des données fournies par la VSH et les CFF. Il n'y a pas eu d'exportations d'après les informations disponibles (voir également le chap. 3.5).

Le flux de matières a été établi et modélisé à partir de l'analyse des chiffres concernant la consommation – de la fabrication à l'utilisation jusqu'à l'élimination des granulats durs. Puis les besoins en roches dures de la Suisse ont été estimés en considérant l'évolution historique de la

consommation, les quantités de granulats nécessaires par kilomètre, ainsi que la durée d'utilisation et les rénovations prévues des routes et des voies ferrées d'importance nationale.

A-1.1 Base de calcul des besoins en ballast ferroviaire pour la construction de voies ferrées

Selon l'expérience des CFF, la durée de vie d'une voie ferrée est actuellement de 25 à 40 ans, en fonction de la charge de trafic à laquelle la voie est soumise. En raison de la fréquence d'utilisation et de l'âge de la voie, le nombre de kilomètres de voie à renouveler annuellement est fixé dans une fourchette étroite et est de l'ordre de 200–230 km par an pour les CFF (moyenne 2016–2019: 215 km par an). Pour les autres entreprises ferroviaires, le taux de renouvellement a été estimé à 70–85 km par an (source: Directive sur l'excavation des voies [20], statistique des ventes de la VSH).

En raison des efforts pour réduire les coûts chez les CFF, principalement pour répondre aux effets de la crise COVID-19, le nombre de kilomètres de voies à renouveler des CFF a été réduit à 150–200 km par an pour les années 2020–2024 (moyenne: 175 km). À partir de 2025, les CFF prévoient un taux de renouvellement de 230 km par an.

Pour la suite de l'évaluation, il est supposé que, par kilomètre de voie renouvelée, une demande en ballast ferroviaire analogue aux années 2016–2019 peut-être attendue à l'avenir. Cela correspond environ à 1860 tonnes de ballast par km. Sur la base de ces données clés (230 km par an et 1860 tonnes de ballast par km), il en découle que les CFF ont besoin de 430 000 t par an de ballast issu de sources primaires pour le renouvellement des voies ainsi que de 100 000 t par an pour leur entretien. Pour les chemins de fer privés, on anticipe une demande d'environ 250 000 t de ballast par an (correspondant à la consommation 2016–2019).

Selon la prévision pour la période 2025–2035, la demande en ballast issu de roches dures de sources primaires est donc d'environ 780 000 t par an. La différence entre cette prévision et la consommation pour la période 2016–2019 (755 000 tonnes par an) s'explique par l'augmentation du taux de renouvellement de l'infrastructure ferroviaire des CFF pour contrer le vieillissement de l'infrastructure.

A-1.2 Base de calcul des besoins en gravillons durs pour la construction routière

En partant d'un taux de renouvellement des routes tous les 20 ans environ, on estime que 113 km de routes nationales et 864 km de routes cantonales seront renouvelés chaque année. En supposant une largeur de chaussée de 20 m pour les routes nationales et de 7 m pour les routes cantonales, et en considérant que des gravillons durs sont uniquement utilisés dans la couche de roulement de 3 cm d'épaisseur (95% de gravillons durs), la consommation de gravillons durs est estimée à 500 000 t par an (130 000 t pour les routes nationales et 370 000 t pour les routes cantonales) (source: projection de l'OFROU basée sur les normes VSS pour la construction des routes). Aucun chiffre direct n'est disponible sur la consommation de gravillons durs dans l'industrie de la construction routière ou auprès de l'OFROU.

Le rapport concernant l'estimation des besoins futurs de la Suisse en granulats durs du bureau Emch+Berger [16] peut être obtenu sur demande auprès de swisstopo.

A-2 Les sites suisses d'exploitation de roches dures

La figure 21 (chap.6.1) donne une vue d'ensemble des gisements de roches dures, des sites d'extraction et de production de granulats durs, ainsi que des zones d'exclusion et des périmètres figurant dans l'Inventaire fédéral des paysages, sites et monuments naturels (IFP). Les chapitres ci-après décrivent les caractéristiques locales des différents sites d'exploitation suisses. Ils incluent, outre des informations concernant l'exploitation, des indications au sujet de la géologie locale des matières premières exploitées et des zones de protection de la nature et du paysage situées à proximité des sites d'extraction. Les données présentées proviennent de géoportails cantonaux et nationaux, des sites web des entreprises productrices de roches dures et de la collecte de données réalisée par swisstopo lors de visites des sites (T1/2019).

A-2.1 FAMSA

Le site d'exploitation de roches dures de Massongex (VS), qui existe depuis 1922, est exploité par la Fabrique d'Agglomérés Monthey SA (FAMSA, FS Group Weibel). Situé entre Monthey et Massongex, sur le versant occidental de la vallée du Rhône, ce site occupe vingt employés. Un raccordement ferroviaire propre à l'entreprise et un accès à l'autoroute voisine assure le transport des produits. L'aire de l'usine de traitement est subdivisée deux parties: d'une part, un poste de chargement, comprenant une unité de production d'asphalte et un dépôt provisoire de traverses ferroviaires en béton usagées destinées à la production de béton RC et, d'autre part, un peu au sud, une surface hébergeant l'installation de traitement des roches dures et des décharges.

Les roches dures sont extraites par minage dans la carrière des Freneys. L'extension de celle-ci, classée en coordination réglée dans le plan directeur, est confrontée à des oppositions de la part de la population locale. Actuellement aucune autorisation d'extraction n'a encore été délivrée.

La carrière et les périmètres d'extension sont situés au sud de l'usine et à une différence d'altitude d'environ 500 mètres au-dessus de celle-ci. Des bandes transporteuses à récupération d'énergie assurent le transport de matériaux entre la carrière et le site de traitement. L'énergie récupérée dans les bandes transporteuses, de l'ordre de 0,4 GWh par année, est injectée dans le réseau public. Les granulométries fines (filler) sont séchées dans une installation fonctionnant grâce à la récupération de chaleur.

Caractéristiques géologico-économiques des matières premières ciblées

Un grès quartzitique du Groupe du Flysch nord-helvétique et de la Molasse rouge de Monthey (éocène supérieur à Oligocène inférieur, dit «grès des carrières») est extrait dans la carrière des Freneys. Ce flysch et cette molasse comprennent, outre les lithologies exploitables, des unités argileuses et marneuses qui ne peuvent pas être utilisées comme roches dures. Ces dernières sont regroupées sous la désignation «unités lithologiques avec part de roches dures» dans la figure 23. Les roches extraites sont composées de niveaux durs et épais de grès quartzitique et de niveaux plus tendres et plus minces de schistes argileux et de marnes.

À part le quartz, la roche contient de la calcite, différents minerais, du feldspath, du mica clair et accessoirement de la chlorite et de la dolomite (ainsi que d'autres minéraux) [26]. La matrice est essentiellement composée de calcite.

Les roches, ayant subi de fortes contraintes tectoniques, sont micro-plissées et écaillées, si bien que l'épaisseur initiale des dépôts formant la couche exploitée a été multipliée dans le secteur de la carrière. Il en a résulté de nombreuses fissures et quelques zones de failles de plus grande dimension. La présence de plis complexes complique l'établissement de prévisions fiables quant à la position des couches exploitables en vue de l'extraction future.

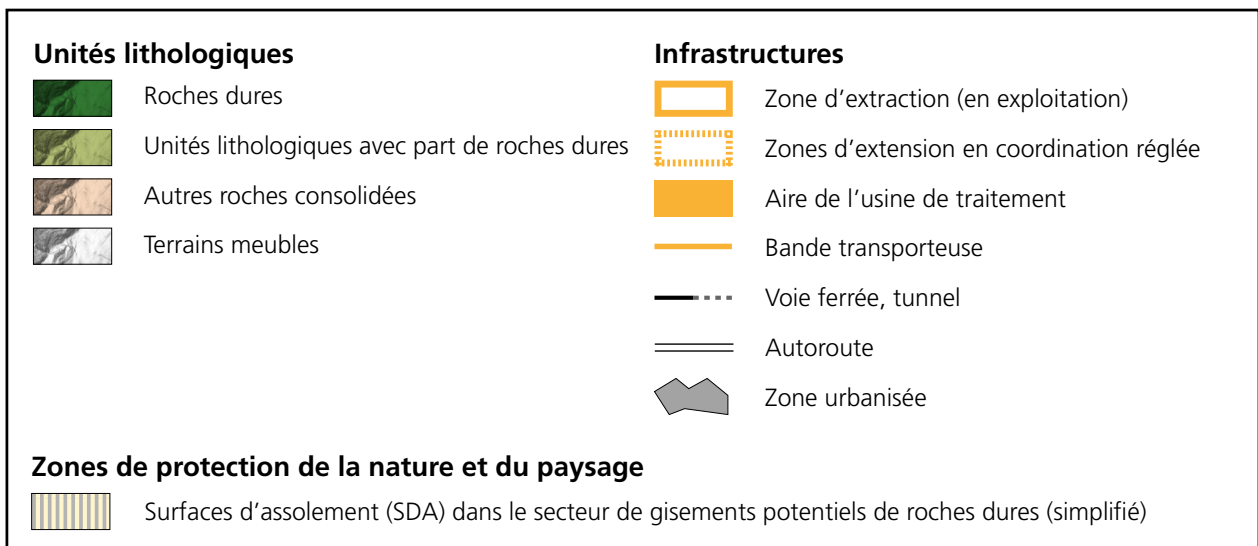
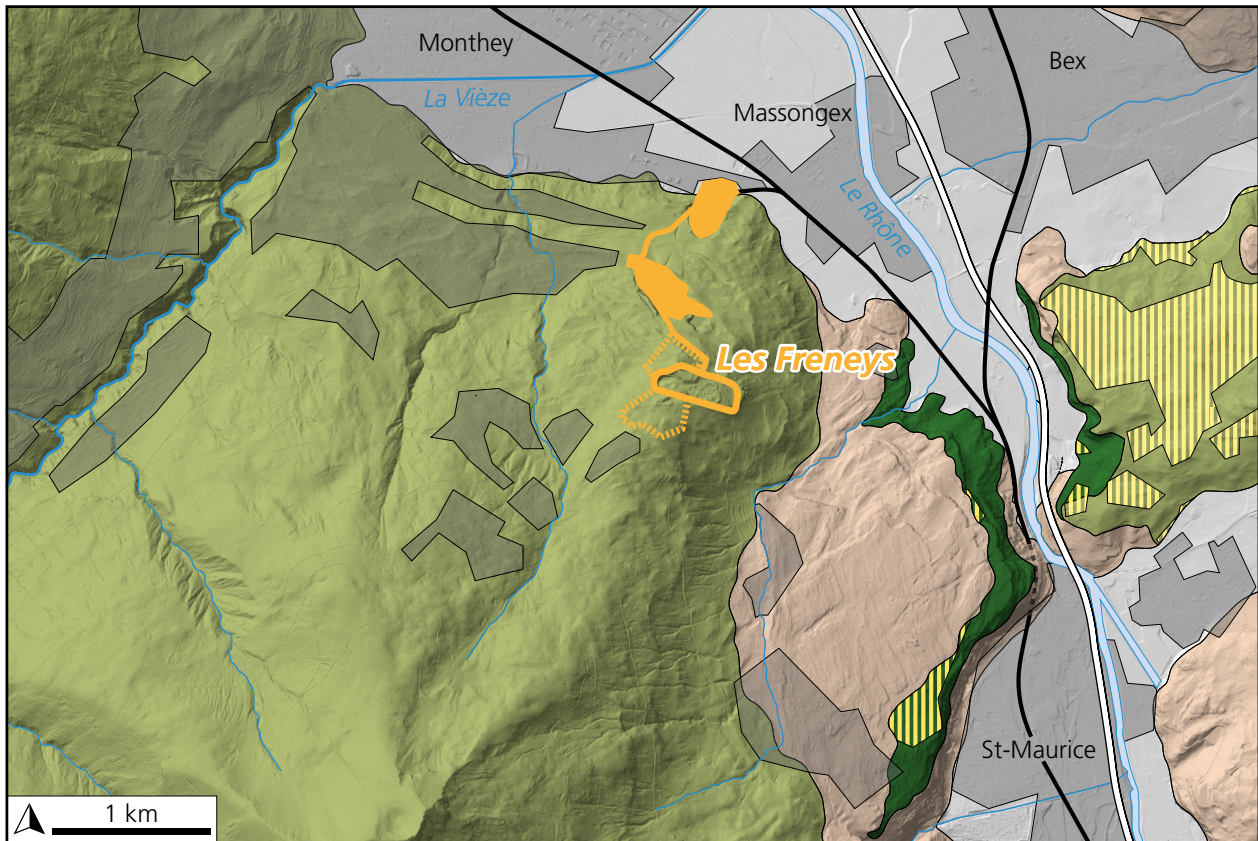


Fig. 23: Site de la FAMSA.

A-2.2 Arvel

Le site d'exploitation de roches dures des Carrières d'Arvel SA se trouve à l'est de Villeneuve, ville située au bord du lac Léman, dans le canton de Vaud. Il occupe 35 personnes. Ce site, fondé en 1905, appartient en grande partie au groupe Colas (Bouygues Construction, France). Outre l'extraction et le traitement de roches dures, l'entreprise exploite une décharge, un dépôt provisoire de déchets de verre et de bois, une installation de recyclage de revêtements routiers et de béton ainsi qu'une unité de production d'asphalte. Le site dispose d'un raccordement ferroviaire propre à l'entreprise et d'un accès à l'autoroute voisine pour transporter ses produits.

La carrière du Châble du Midi, attenante à l'aire de l'usine de traitement, a été fermée de 2008 à 2015 en raison de l'instabilité du massif rocheux. La carrière a repris son activité en 2016. La roche extraite est acheminée vers le concasseur primaire situé à l'intérieur de la montagne par un puits de dévalage, puis vers l'installation de traitement par une bande transporteuse. Ce procédé permet de diminuer les émissions de poussière et de bruit. Des travaux de stabilisation du rocher et de reboisement de la carrière sont menés parallèlement à l'extraction. L'exploitation de la carrière de Planche Boetrix, située un peu plus au sud, a cessé en 2015. Cette carrière sert actuellement de décharge pour matériaux d'excavation non pollués. Entre les deux carrières se trouve la décharge déjà renaturée de la Charmotte.

Il est prévu d'étendre l'extraction en souterrain juste au sud du périmètre actuellement exploité. La surface concernée a été classée comme zone d'extension souterraine en coordination réglée dans le plan directeur cantonal. Aucune autorisation d'extraction n'a encore été délivrée.

La zone actuellement exploitée et l'extension prévue se trouvent à l'intérieur de la zone IFP n° 1515 (Tour d'Aï – Dent de Corjon). La zone IFP n° 1502 (Les Grangettes) se trouve à l'ouest de Villeneuve et le Parc naturel régional Gruyère Pays-d'Enhaut est situé au nord des carrières d'Arvel.

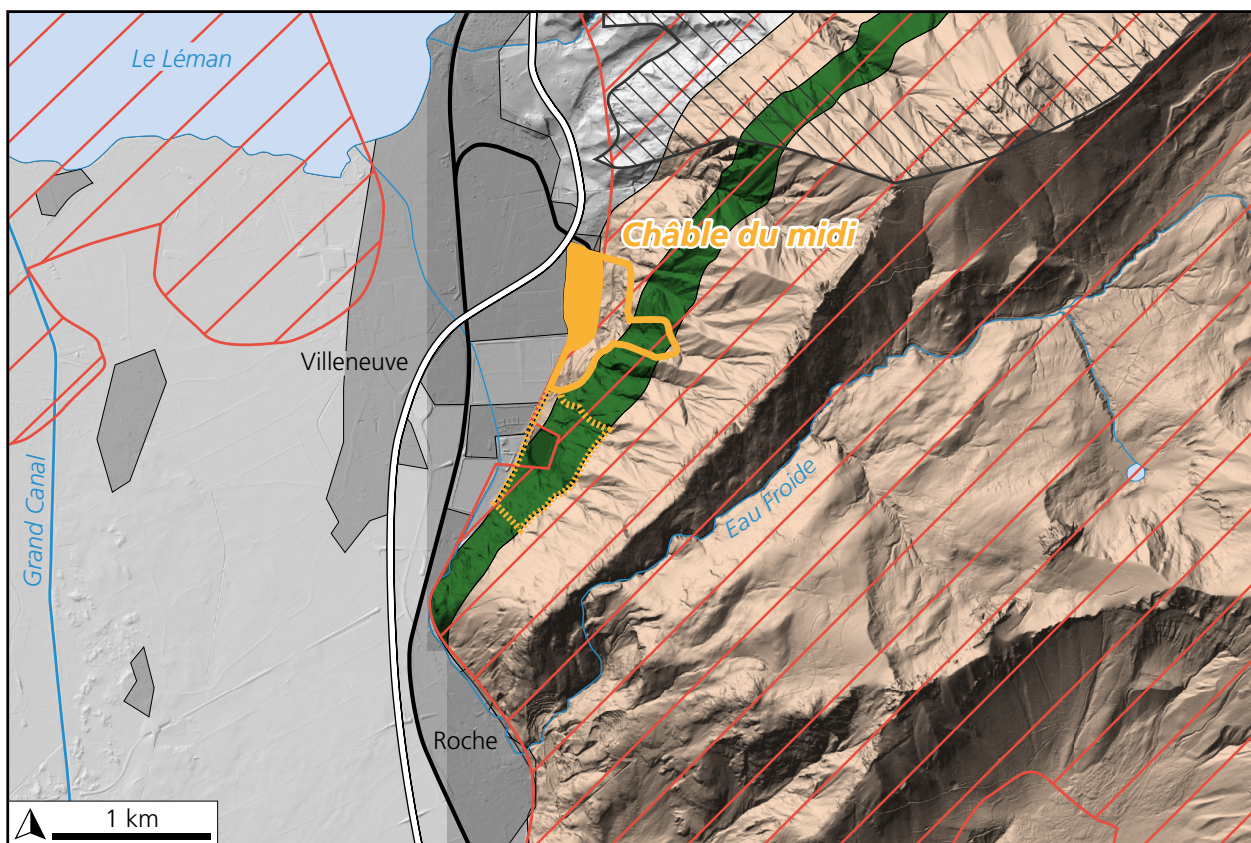
Caractéristiques géologico-économiques des matières premières ciblées

Des roches de la Formation de Rossinière (Lias)³⁴ sont exploitées dans la carrière du Châble du Midi. Ces unités lithologiques y ont une épaisseur allant jusqu'à 300 mètres et elles sont formées en grande partie de calcaire siliceux en couches épaisses.




Au plan minéralogique, ces roches sont essentiellement composées de calcite, avec une part variable de quartz (env. 30–50%). Une grande partie du quartz forme une trame de silice à grain très fin ou parfois de quartz détritique. Les roches exploitées peuvent contenir secondairement de l'ankerite, de la chlorite, de la muscovite ou de la pyrite [26].

Les bancs de calcaire siliceux sont très résistants et peu sensibles à l'altération. Ils sont entrecoupés de rares intercalations marneuses, dans une proportion de quelque 8% [48]. Les strates plongent d'une quarantaine de degrés vers le sud (vers l'intérieur du versant), ce qui favorise la stabilité de la pente. Quelques zones de failles traversent le massif rocheux.







34 L'attribution lithostratigraphique dans cette zone est grevée de quelques incertitudes.



Unités lithologiques

-  Roches dures
-  Autres roches consolidées
-  Terrains meubles

Infrastructures

-  Zone d'extraction (en exploitation)
-  Zones d'extension souterraine en coordination réglée
-  Aire de l'usine de traitement
-  Voie ferrée
-  Autoroute
-  Zone urbanisée

Zones de protection de la nature et du paysage



-  Inventaire fédéral des paysages, sites et monuments naturels (IFP, zones n° 1502 et 1515)
-  Parc naturel régional Gruyère Pays-d'Enhaut

Fig. 24: Site d'Arvel.

A-2.3 Blausee-Mitholz

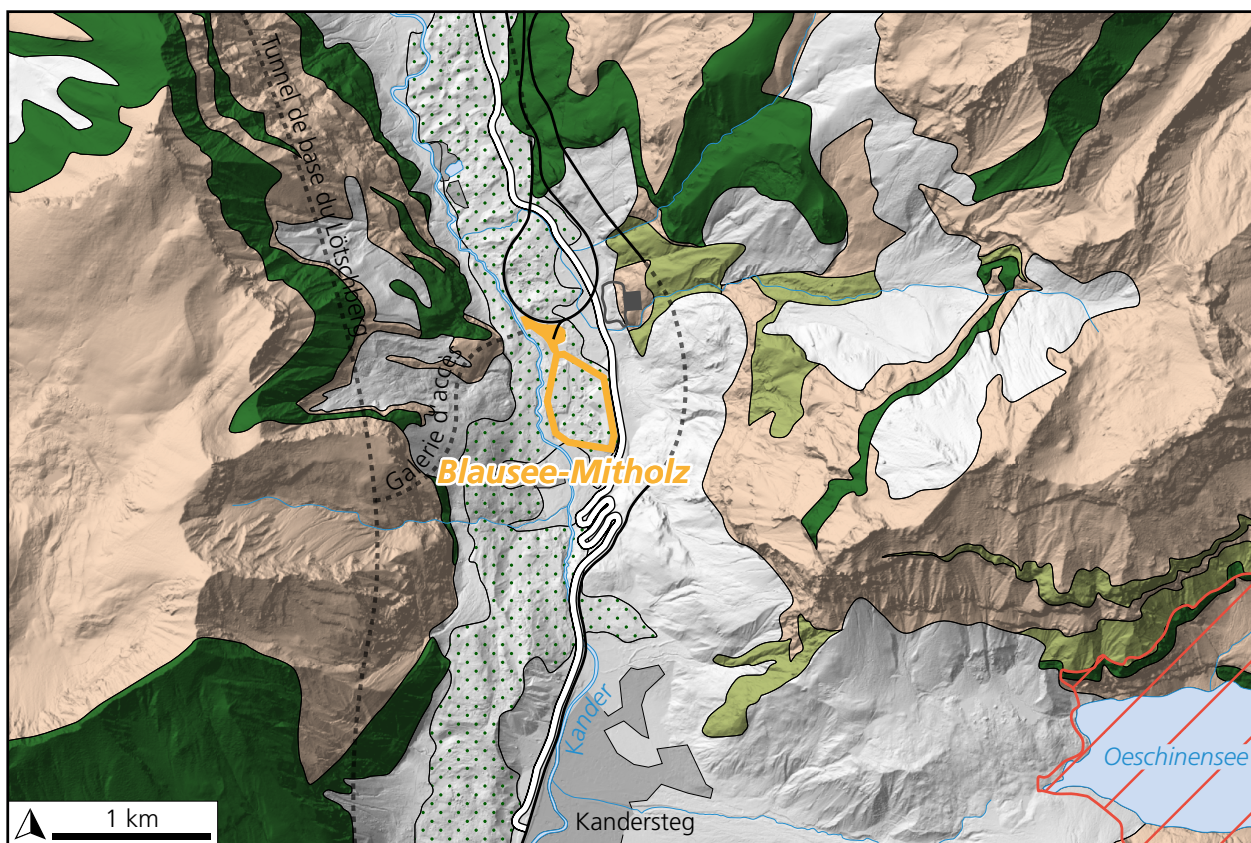
Le site d'exploitation de roches dures de l'entreprise SHB Steinbruch + Hartschotterwerk Blausee-Mitholz AG (Vigier Holding SA) est situé dans le Kandertal, entre Frutigen et Kandersteg. Il a été fondé en 1958 et occupe dix-huit personnes. Outre le traitement de roches dures, des blocs de roche appropriés y sont traités dans une scierie de pierre avec un atelier de sculpture pour fabriquer un large éventail de produits en pierres naturelles (p.ex. fontaines, pierres de taille ou objets d'art). Le site se trouve à proximité de la route nationale N6 et est relié au réseau ferré.

Sur le site de Blausee-Mitholz, des blocs de taille variable sont extraits d'une masse de roche éboulée au moyen de barres à mine. Les grands blocs sont minés. Les transports à l'intérieur du site sont assurés par des camions-bennes.






Un peu au nord du site d'exploitation de roches dures se trouve l'ancien dépôt de munitions de Mitholz, dont les restes doivent être évacués sur décision du Conseil fédéral de 2020. Le portail d'accès au tunnel de base du Lötschberg est situé juste à côté de l'aire de l'usine de traitement des roches dures. Le raccordement au portail traverse l'aire de l'usine.

Caractéristiques géologico-économiques des matières premières ciblées







Contrairement aux autres carrières de roches dures, ce n'est pas une paroi rocheuse qui est exploitée dans la carrière de Blausee-Mitholz, mais une grande masse de roche écroulée, qui recouvre tout le fond de la vallée entre Kandersteg et Mitholz. Ce dépôt résulte de plusieurs épisodes d'écroulement qui se sont produits après le dernier maximum glaciaire. Leurs niches d'arrachement se trouvent un peu en amont de la vallée, au Fisistock et à la Bire. Les dépôts de roches meubles issus des écroulements ont parfois une épaisseur supérieure à 100 mètres. Les gros blocs sont essentiellement composés de calcaire siliceux helvétique (Crétacé), qui se prête à la production de granulats durs. La masse écroulée contient également quelques remplissages argileux locaux.



Unités lithologiques

-  Roches dures
-  Unités lithologiques avec part de roches dures
-  Autres roches consolidées
-  Terrains meubles avec part de roches dures
-  Autres terrains meubles

Infrastructures

-  Zone d'extraction (en exploitation)
-  Aire de l'usine de traitement
-  Dépôt de munitions avec zone de décombres
-  Voie ferrée, tunnel
-  Route nationale
-  Zone urbanisée

Zones de protection de la nature et du paysage

-  Inventaire fédéral des paysages, sites et monuments naturels (IFP, zone n° 1507)

Fig. 25: Site de Blausee-Mitholz.

A-2.4 Balmholz

Dans le canton de Berne, l'entreprise AG Balmholz (groupe Frutiger) exploite la carrière de Balmholz, située au bord du lac de Thoune, au sud de Beatenberg. Le site existe depuis 1876 et il occupe trente personnes. Les granulats durs qui sont produits sont acheminés par bateau jusqu'au terminal de chargement de Thoune, d'où leur transport se poursuit par le rail. Outre l'extraction et le traitement de roches dures, l'entreprise AG Balmholz opère une unité de production d'asphalte, qui valorise des déchets bitumineux issus de l'assainissement des routes.

La carrière du Balmholz se trouve au nord de l'aire de l'usine de traitement. Elle en est séparée par une barre rocheuse sur laquelle passe la route reliant Steffisburg à Interlaken. L'accès à la carrière à partir de l'aire de l'usine emprunte un court tunnel. La roche extraite, une fois traitée, est chargée directement sur un bateau par une bande transporteuse.

Il est prévu d'étendre la zone d'extraction vers le nord. Pour une première partie, le classement en coordination réglée dans le plan directeur est demandé.

La carrière de Ringgenberg, au bord du lac de Brienz, appartient également à l'entreprise AG Balmholz. L'extraction de roches dures est à l'arrêt suite à l'épuisement des réserves.

Caractéristiques géologico-économiques des matières premières ciblées

La carrière du Balmholz se trouve dans un versant sud de déclivité modérée. On y extrait du calcaire siliceux helvétique (Crétacé) de la nappe du Wildhorn. Dans le secteur de la carrière, cette roche a une épaisseur de l'ordre d'environ 160 mètres et ses couches plongent de 10–15° vers le sud-est. Les roches de la carrière sont caractérisées par une stratification régulière en bancs d'épaisseur allant de 10 à 50 centimètres.

Au plan minéralogique, les roches sont essentiellement composées de calcite, généralement accompagnée de plus de 40% de quartz [49]. Une grande partie de ce quartz forme une trame de silice à grain très fin uniforme. Les roches contiennent secondairement de l'ankérite, de la muscovite et de la pyrite [26].

Des couches d'épaisseur relativement faible, à teneur élevée en muscovite, confèrent localement une légère schistosité au calcaire siliceux sinon presque isotrope. Quelques zones de failles tectoniques traversent le rocher et les fissures, généralement raides, sont rares dans ce secteur.

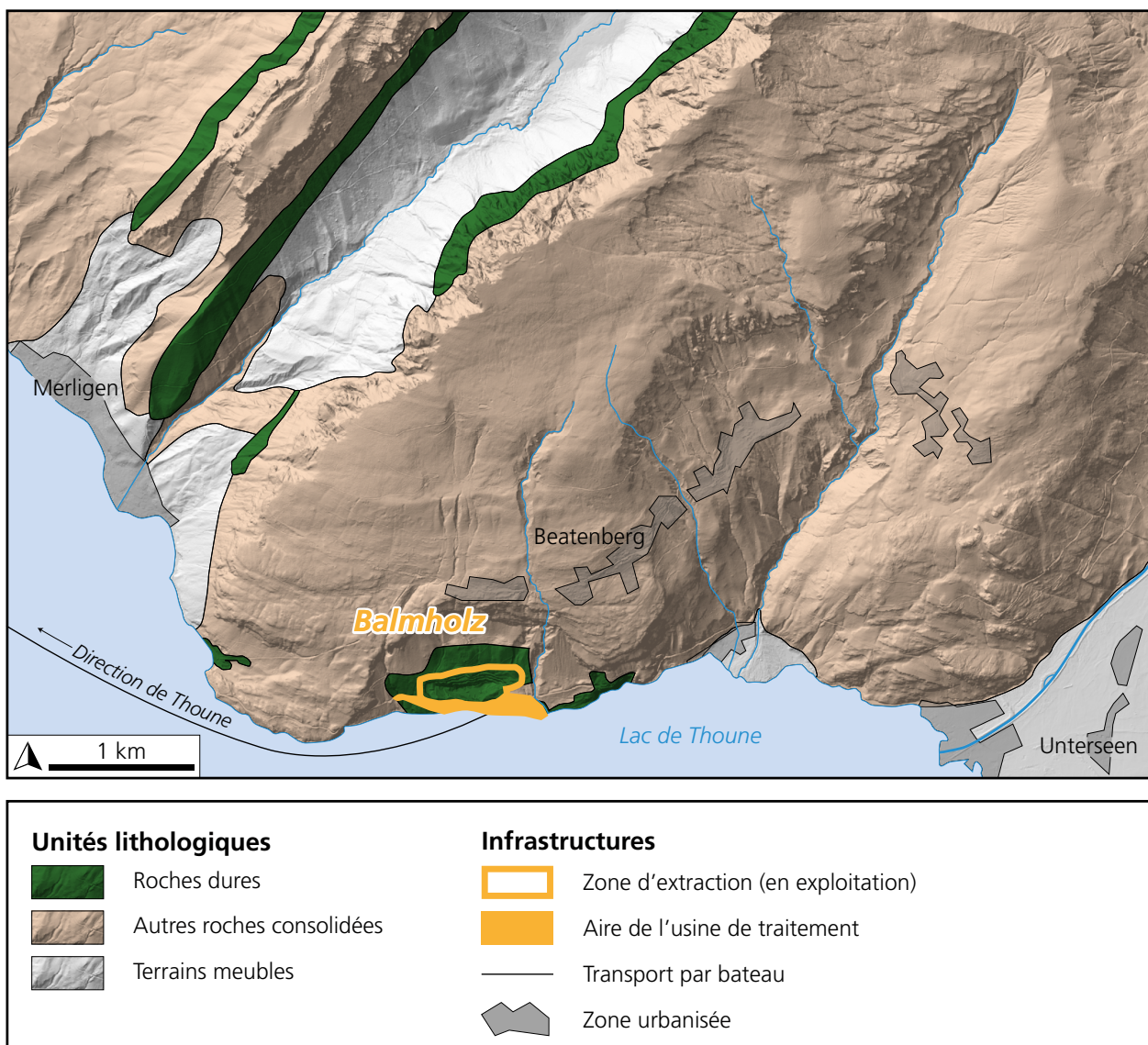


Fig. 26: Site du Balmholz.

A-2.5 Rotzloch

Le site d'exploitation de roches dures de Rotzloch, appartenant à l'entreprise STEINAG Rozloch AG (groupe Müller-Steinag, Suisse), est situé au bord du lac d'Alpnach, entre Stans et Stansstad, dans le canton de Nidwald. Il a été fondé en 1931 et occupe 135 personnes, dont 9 travaillent à l'exploitation de la carrière. Outre la production de roches dures, l'entreprise STEINAG Rozloch AG exploite une décharge dans l'ancienne carrière de Rotzloch et fabrique des produits en béton. Les granulats durs sont amenés en règle générale par bateau à Horw près de Lucerne, d'où leur transport se poursuit par train et par camion.

La carrière de Rüti se trouve un kilomètre au sud-ouest de l'aire de l'usine de traitement, à laquelle elle est reliée pour une bande transporteuse souterraine. La roche est concassée dans la carrière, puis elle est acheminée vers la bande transporteuse dans un puits de dévalage. La fraction fine est retirée par précriblage dans le puits de dévalage, pour être utilisée ensuite dans la production de béton.

La zone d'extraction de Rüti est à l'intérieur de la zone IFP n° 1606.6 (lac des Quatre-Cantons avec le Kernwald, le Bürgenstock et le Rigi – Secteur 6 «Kernwald et lac d'Alpnach»). L'aire de l'usine de traitement est exclue de cette zone.

Caractéristiques géologico-économiques des matières premières ciblées

La carrière de Rüti est située dans un cordon de collines orienté SW-NE, en rive sud du lac d'Alpnach. On y extrait du calcaire siliceux helvétique (Crétacé) de la nappe du Wildhorn. La plus grande partie de la carrière se trouve au cœur d'un anticlinal à plan axial vertical. La stratification est par conséquent subhorizontale dans le secteur sud de la carrière, tandis que les couches plongent de 10–30° vers le nord-ouest dans le secteur nord. Les roches de la carrière sont stratifiées à massives [50].

Au plan minéralogique, les roches sont essentiellement composées de calcite, avec une part de quartz de 20–45% [26, 50]. Une grande partie du quartz forme une trame de silice à grain très fin. Les roches contiennent secondairement de l'ankérite et de la muscovite [26].

Les niveaux schisteux de la couche exploitée ont généralement une épaisseur faible et ils peuvent être éliminés assez facilement lors du processus de traitement. Les fissures sont relativement fréquentes et quelques zones de failles d'origine tectonique traversent la carrière. La roche est parcourue par de rares veines de calcite.

A-2.6 Kehrsiten

L'entreprise Holcim (Suisse) SA occupe douze personnes dans son site de production de Kehrsiten, près de Stansstad (NW). Fondée en 1919, elle est située au bord du lac des Quatre-Cantons, entre Stansstad et Kehrsiten. Sa production est acheminée par bateau vers les terminaux de Lucerne, Horw et Stansstad, d'où son transport se poursuit par le rail.

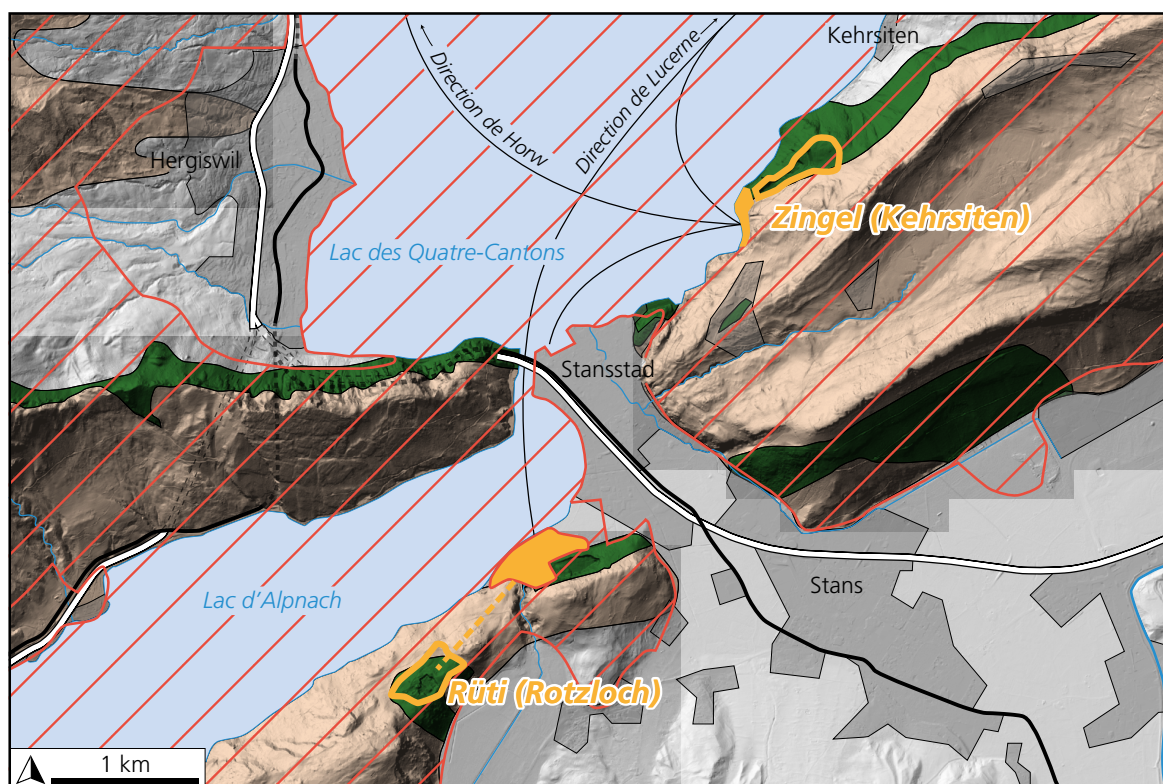
Juste à côté de l'aire de l'usine de traitement se trouve la carrière de Zingel, où l'extraction a lieu par minage. Les matériaux sont acheminés vers l'installation de traitement dans un puits de dévalage puis sur des camions-bennes.

La carrière de Zingel est à l'intérieur de la zone IFP n° 1606.4 (lac des Quatre-Cantons avec le Kernwald, le Bürgenstock et le Rigi – Secteur 4 «Bürgenstock»). L'extension d'Oberzingel, située dans la partie nord du périmètre d'extraction, est exploitée depuis le début 2019.




Caractéristiques géologico-économiques des matières premières ciblées

La carrière de Zingel est située dans une cuvette, au bord de la partie sud-ouest du lac des Quatre-Cantons. Elle est séparée du lac par une bande boisée pour atténuer son impact sur le paysage. On y extrait du calcaire siliceux helvétique (Crétacé) de l'écaille du Niederhorn – Pilatus («chaîne bordière» helvétique). La carrière est traversée par une grande zone de failles. Le calcaire siliceux exploité, généralement compact, plonge d'une vingtaine de degrés vers le sud-ouest. On y trouve quelques intercalations marneuses, renfermant de la pyrite, qui peuvent être éliminées assez facilement lors du processus de traitement.








Le secteur de la carrière comprend plusieurs grandes zones de failles, généralement raides. Comme l'axe de la carrière suit une cuvette morphologique, la couverture de terrains meubles atteint localement jusqu'à dix mètres.



Unités lithologiques

-  Roches dures
-  Autres roches consolidées
-  Terrains meubles

Infrastructures

-  Zone d'extraction (en exploitation)
-  Aire de l'usine de traitement
-  Bande transporteuse (souterraine)
-  Transport par bateau
-  Voie ferrée, tunnel
-  Autoroute, tunnel
-  Zone urbanisée

Zones de protection de la nature et du paysage


-  Inventaire fédéral des paysages, sites et monuments naturels (IFP, zones n° 1605 et 1606)

Fig. 27: Sites de Rotzloch et de Kehrsiten.

A-2.7 Zingel

Le site d'exploitation de roches dures de Zingel, qui appartient à l'entreprise KIBAG Kies Seewen AG, a été fondé en 1902. Situé près de Seewen, au bord du lac de Lauerz, dans le canton de Schwyz, il occupe quinze personnes. Ses produits sont acheminés par train via un raccordement propre à l'entreprise ou par l'autoroute via un accès tout proche de l'aire de l'usine de traitement.

La carrière de Zingel se trouve au bord du lac, un peu au sud-ouest de l'aire de l'usine. La roche y est extraite par minage, puis elle est concassée dans une caverne et acheminée vers l'aire de l'usine par bande transporteuse. Des matériaux d'excavation non pollués sont mis en décharge dans la partie nord-ouest de la carrière, qui n'est plus exploitée.

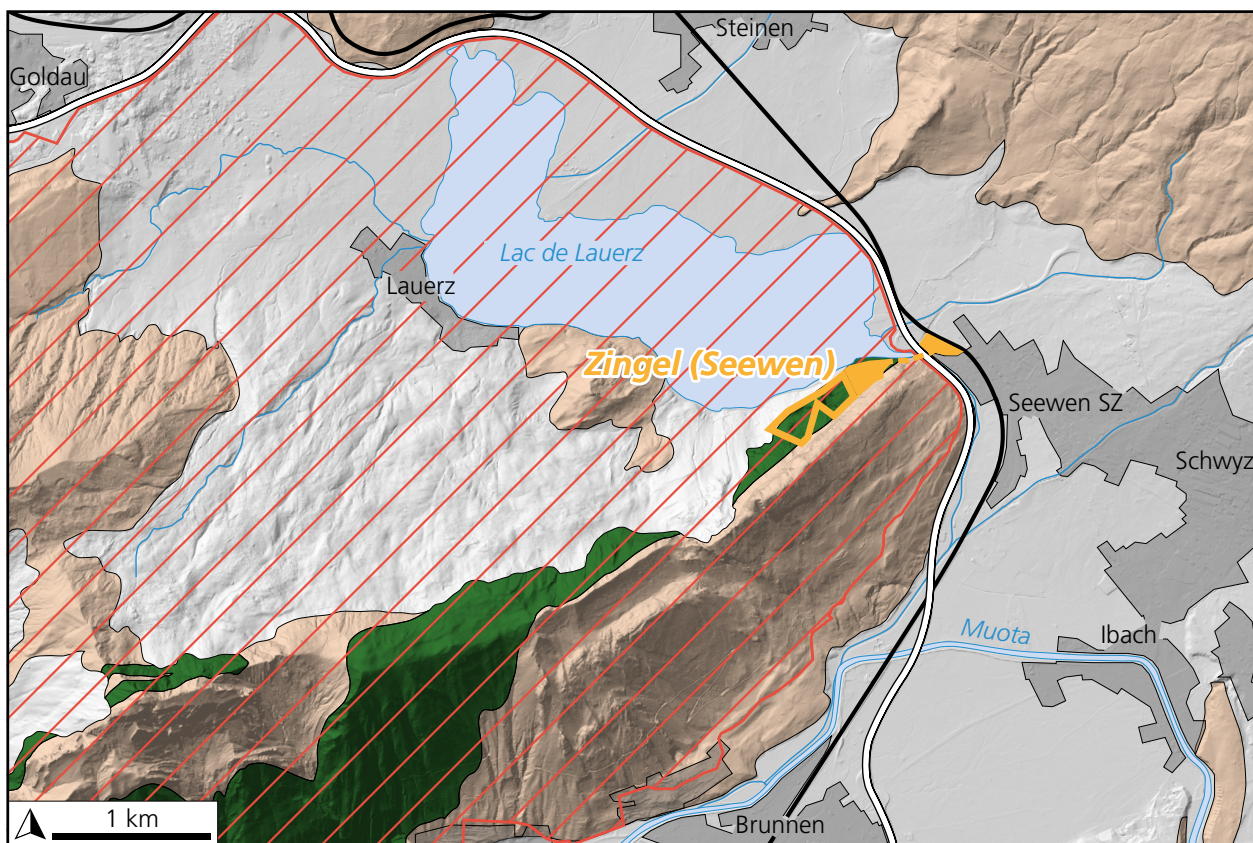
La carrière et des parties de l'aire de l'usine de traitement se trouvent à l'intérieur de la zone IFP n° 1606.3 (lac des Quatre-Cantons avec le Kernwald, le Bürgenstock et le Rigi – Secteur 3 «Rigi») et elles sont attenantes à la zone IFP n° 1604 (lac de Lauerz).

Caractéristiques géologico-économiques des matières premières ciblées




Du calcaire siliceux helvétique (Crétacé) de la nappe du Wildhorn est extrait dans la carrière de Zingel. Il y a une épaisseur de l'ordre de 240 mètres et les couches y plongent de 30–45° vers le sud-est, contre l'Urmiberg. Les roches extraites sont stratifiées à litées à l'échelle décimétrique à métrique.

Au plan minéralogique, les roches sont essentiellement composées de calcite, avec une part de quartz de 25–40% [51]. Une grande partie du quartz forme une trame de silice à grain très fin. Les roches contiennent secondairement de l'ankérite et de la muscovite [26].







Les niveaux schisteux de la couche exploitée ont généralement une épaisseur faible et ils peuvent être éliminés assez facilement lors du processus de traitement. La carrière comprend des fissures raides et quelques zones de failles raides [51].



Unités lithologiques

-  Roches dures
-  Autres roches consolidées
-  Terrains meubles

Infrastructures

-  Zone d'extraction (en exploitation)
-  Aire de l'usine de traitement
-  Bande transporteuse (souterraine)
-  Voie ferrée
-  Autoroute
-  Zone urbanisée

Zones de protection de la nature et du paysage


-  Inventaire fédéral des paysages, sites et monuments naturels (IFP, zones n° 1604 et 1606)

Fig. 28: Site de Zingel.

A-2.8 Gasperini

Le site d'exploitation de roches dures Gasperini à Attinghausen (UR) a été fondé en 1926. Il est actuellement exploité par l'entreprise Hartsteinwerk Gasperini AG et occupe 21 personnes. Il est situé au sud du lac d'Uri, entre Seedorf et Attinghausen, sur le versant occidental de la vallée de la Reuss. Ses produits sont transportés par camion sur l'autoroute voisine ou chargés sur un train à Altdorf après un bref trajet en camion.

La carrière d'Eielen se trouve juste à l'ouest de l'aire de l'usine de traitement. Elle comprend un secteur sud, désaffecté, dans lequel le canton exploite une décharge, et un secteur nord, dans lequel des roches dures sont extraites par minage. Les transports de la roche extraite sont assurés par des camions-bennes. Un puits de dévalage est disponible mais pas en service en raison de complications dues à une arrivée d'eau dans l'ouvrage.

Au nord-ouest, la carrière d'Eielen est attenante à la zone IFP n° 1606.1 (lac des Quatre-Cantons avec le Kernwald, le Bürgenstock et le Rigi – Secteur 1 «Lac d'Uri»).

Caractéristiques géologico-économiques des matières premières ciblées

Un intervalle du Groupe du Flysch nord-helvétique à prédominance de grès quartzitique (Formations de Matt et d'Elm, éocène précoce à Oligocène précoce, nommé autrefois «Grès d'Altdorf»), est exploité dans la carrière d'Eielen. Les roches extraites sont composées d'une alternance de niveaux durs de grès quartzitique, d'épaisseur décimétrique à métrique, et de niveaux plus tendres, formés d'argile et de marne, d'épaisseur généralement moindre, avec une part de marne très variable [52]. Seuls les niveaux de grès se prêtent à la production de roches dures. Le Groupe du Flysch nord-helvétique est rangé sous «Unité lithologique avec part de roches dures» dans la figure 29.

Les niveaux de grès sont composés de 50–70% de quartz. On y trouve également de la calcite, différents minerais, du feldspath, du mica clair et accessoirement de la chlorite et de la dolomite (ainsi que d'autres minéraux) [26].

Les roches de la carrière d'Eielen, ayant subi de fortes contraintes tectoniques, forment des plis serrés, en particulier dans la partie inférieure de l'exploitation. Les secteurs d'altitude supérieure à 650 mètres sont caractérisés par un empilement régulier de couches horizontales. Le plissement serré de la couche exploitée a généré un doublement de l'épaisseur originale des dépôts dans le secteur de la carrière. Suite aux fortes contraintes tectoniques subies par la roche, la carrière présente de nombreuses fissures et quelques grandes zones faillées. Pour la suite de l'extraction, la complexité du plissement pourrait compromettre une prévision à haut degré de fiabilité de la géométrie des couches exploitables. L'épaisseur de la couverture de terrains meubles atteint localement jusqu'à quatorze mètres [52].

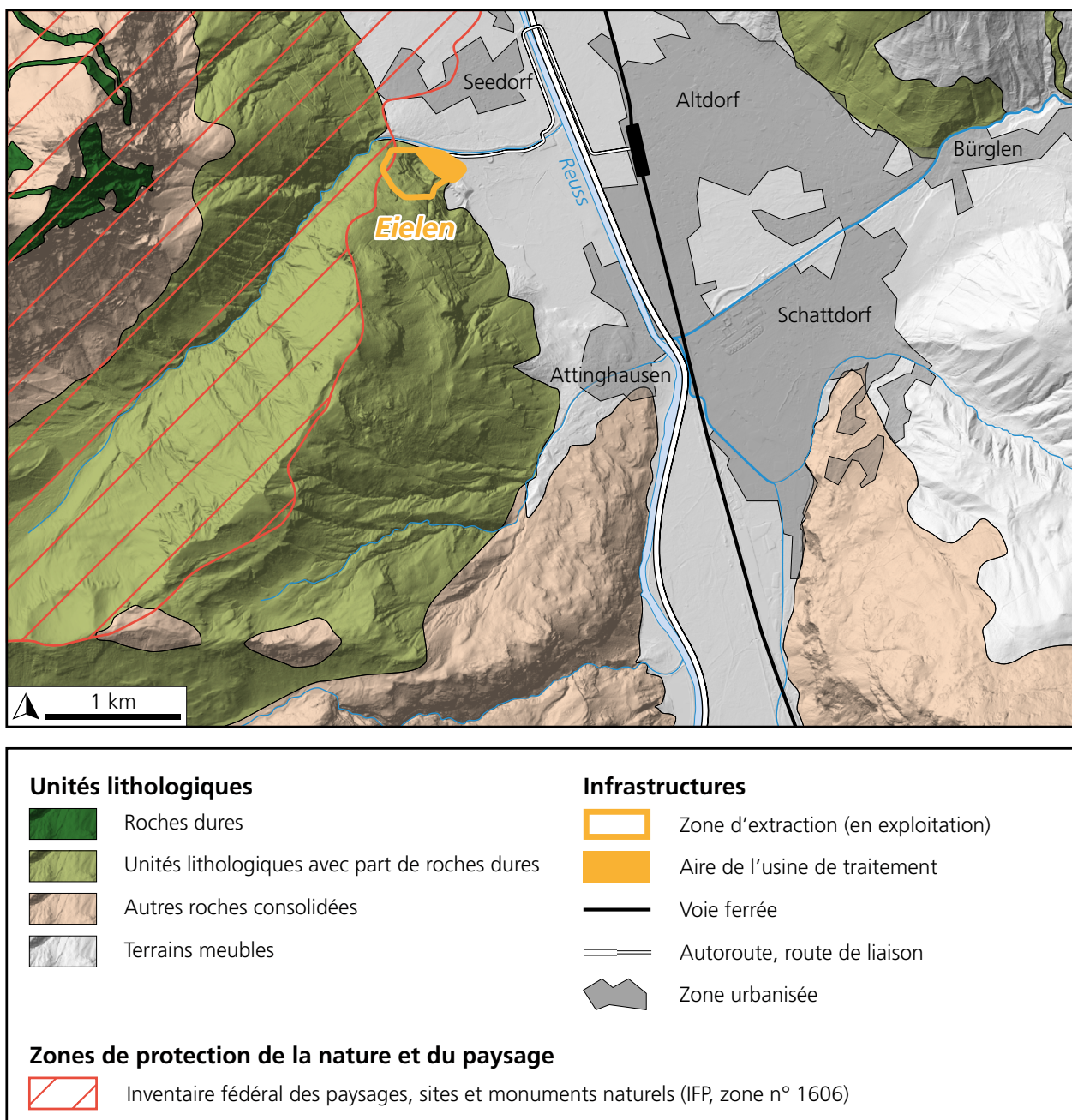


Fig. 29: Site de Gasperini.

A-3 Normes et réglementations sélectionnées mentionnées dans le texte

Norme	Titre	État
EN 13450:2002	Granulats pour ballasts de voies ferrées	2002
SN 640 420	Enrobés bitumineux – Norme de base	2015
SN 670 103B-NA/ EN 13043	Granulats pour mélanges hydrocarbonés et pour enduits superficiels utilisés dans la construction des chaussées, aérodromes et autres zones de circulation	2006
SN 670 110-NA/ EN 13450	Granulats pour ballasts de voies ferrées	2004
SN 670 903-2C/ EN 1097-2	Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats – Partie 2: Méthodes pour la détermination de la résistance à la fragmentation	2011
SN 670 903-8B/ EN 1097-8	Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats – Partie 8: Détermination du coefficient de polissage accéléré	2011
SN EN 13285	Graves non traitées	2019
VSS 40 040B	Projet, bases – Types de routes	2019
VSS 40 041	Projet, bases – Type de routes: routes à grand débit	2019
VSS 40 042	Projet, bases – Type de routes: routes principales	2019
VSS 40 302B	Routes et voies ferrées – Terminologie	2019
VSS 40 320	Dimensionnement de la structure des chaussées; trafic pondéral équivalent	2019
VSS 40 324	Dimensionnement de la structure des chaussées; sol de fondation et chaussée	2019
VSS 70 115	Granulats minéraux; minéralogie et pétrographie qualitative et quantitative	2019
SIA 199	Étude du massif encaissant pour les travaux souterrains	2015
R RTE 21110	Infrastructure et ballast – Voie normale et métrique Ouvrage de référence en matière de technique ferroviaire (RTE) Union des transports publics	2015
CFF I-22211	Utilisation du matériel de voie lors des travaux neufs et des renouvellements de voies et d'appareils de voie Règlement CFF	2014

