

INSTRUCTIONS

**pour l'application de
la protection des eaux
souterraines aux
ouvrages souterrains**

OFEFP: Section Débits minimums et approvisionnement en eau

P. Michel
Dr B. Meylan

CSD Colombi Schmutz Dorthe SA
Ingénieurs, géologues, spécialistes de l'environnement
Schachenallee 29
5000 Aarau

Dr H.-J. Moser (direction du projet)
R. Conrad
Dr E. Schläppi

Infras AG
Rieterstrasse 18
8002 Zurich
M. Maibach

Téléchargement du fichier PDF
www.environnement-suisse.ch/publications
Référence: VU-2503-F

© OFEFP 1998

TABLE DES MATIÈRES

	Page
Avant-propos	5
Résumé	6
1. INTRODUCTION	7
1.1 Point de la situation	7
1.2 Objectifs	7
1.3 Bases juridiques	8
2. PROTECTION DES EAUX SOUTERRAINES ET DES EAUX DE SURFACE CONTRE LA POLLUTION LORS DE CONSTRUCTIONS SOUTERRAINES	10
2.1 Aspects de la protection des eaux concernés	10
2.2 Conséquences	11
2.3 Déroulement de la procédure	11
3. ÉTABLISSEMENT DU RAPPORT EIE POUR LA PROTECTION DES EAUX	13
3.1 Projet général/avant-projet	13
3.1.1 Contenu du rapport EIE pour le projet général/l'avant-projet	13
3.1.2 Cahier des charges pour le projet définitif/le projet de mise à l'enquête publique	14
3.1.3 Evaluation par le service de protection de l'environnement	14
3.2 Projet définitif/projet de mise à l'enquête publique	14
3.2.1 Généralités	14
3.2.2 Définition de l'état actuel; rapport hydrogéologique	15
3.2.3 Impact du projet sur l'environnement (scénarios des impacts)	16
3.2.4 Mesures proposées pour éviter les impacts sur l'environnement (scénarios des mesures)	21
3.2.5 Programme de surveillance	22
3.2.6 Evaluation par l'autorité de protection de l'environnement	23
4. VÉRIFICATION ET MONITORING APRÈS L'APPROBATION DU PROJET	24
4.1 Réalisation du programme de surveillance	24
4.2 Surveillance des travaux de chantier	24
4.3 Contrôle de la réalisation des scénarios des mesures par les autorités, y compris intervention de l'autorité au niveau de l'exécution	25

ANNEXE I LA MÉTHODOLOGIE DE L'ANALYSE DES SCÉNARIOS	26
1. Bases	26
2. Méthodologie	26
ANNEXE II MESURES POSSIBLES DURANT LE PERCEMENT ET LE REVÊTEMENT DÉFINITIF	29
ANNEXE III EXEMPLES CONCRETS	31

Avant-propos

De plus en plus de voies de communication sont transférées dans des tunnels. Cette manière de faire ne tient souvent pas compte du fait que les tunnels peuvent eux aussi avoir des répercussions sur l'environnement, en modifiant les conditions hydrogéologiques d'un secteur, ce qui peut avoir des effets sur les sources, la végétation, les biotopes ou l'agriculture, mais également sur la stabilité des ouvrages. De telles modifications se déroulent souvent de manière insidieuse pendant des années, de sorte que l'existence d'un lien avec le projet n'est pas toujours reconnue de façon évidente.

De tels impacts sur l'environnement provoqués par des ouvrages souterrains peuvent cependant être évités grâce à une planification et une réalisation circonspectes. Les présentes instructions indiquent les étapes à respecter pour réaliser des ouvrages souterrains respectueux de l'environnement et conformes à la législation du point de vue de la protection des eaux souterraines.

Avant leur parution, les présentes instructions ont été discutées de manière approfondie avec les milieux spécialisés les plus impliqués dans la problématique (l'Office fédéral des transports, les Chemins de fer fédéraux, la ligne Bern-Lötschberg-Simplonbahn (BLS), la Société suisse des ingénieurs et architectes [en particulier le groupe spécialisé dans la sauvegarde des eaux des ouvrages souterrains], la Société suisse d'hydrogéologie et la Commission fédérale de géologie).

Le rapport de base « Grundwasserschutz bei Tunnelbauten » (OFEFP, cahier de l'environnement n° 231) a servi de base pour l'élaboration des instructions. Ce rapport présente des procédés de construction de tunnels en s'appuyant sur des exemples de la littérature.

Les présentes instructions s'adressent aux autorités compétentes, aux maîtres d'œuvre, aux ingénieurs des projets et aux rédacteurs du rapport d'impact. Elles visent à garantir la sauvegarde des eaux souterraines (dans les roches meubles ou solides) ainsi que la protection des sources et des biotopes humides qui en dépendent lors de la réalisation d'ouvrages souterrains.

Résumé

Un drainage trop important des eaux souterraines provoque un abaissement du niveau de la nappe d'eau souterraine, ce qui a des conséquences négatives pour l'alimentation en eau potable, la végétation et les cultures agricoles ainsi que pour la stabilité d'ouvrages tels que les barrages. Pour ces raisons, la quantité d'eau souterraine (que l'on se trouve en milieu poreux ou solide) drainée par des constructions souterraines doit se limiter à la quantité d'eau renouvelable. Lors de la réalisation d'un ouvrage souterrain, on devra prendre des mesures visant à empêcher que le prélèvement à long terme d'eaux souterraines ne dépasse l'importance de la recharge. De telles mesures doivent de toute façon être mises en place, afin d'éviter que des eaux chaudes et/ou fortement minéralisées provenant du secteur de l'ouvrage ne polluent les cours d'eau dans lesquels elles sont déversées. L'obligation d'éviter un abaissement du niveau phréatique sur de grandes surfaces découle de la loi fédérale du 24 janvier 1991 sur la protection des eaux (LEaux). L'art. 43, al. 1, de cette loi dispose qu'à long terme, les prélèvements opérés dans une nappe souterraine ne doivent pas être supérieurs à la quantité d'eau qui l'alimente. Un abaissement temporaire du niveau de la nappe pendant la phase de chantier est cependant admissible à condition que l'équilibre entre le drainage et le renouvellement puisse être rétabli dans des délais prévisibles et que l'eau drainée soit traitée selon les dispositions réglementaires avant son déversement dans un cours d'eau.

Etant donné qu'il faut s'attendre à de grandes incertitudes en ce qui concerne les conditions hydrogéologiques – particulièrement lorsqu'il s'agit de la prédiction hydrogéologique d'ouvrages souterrains profonds – il est nécessaire, en matière de protection des eaux souterraines, de recourir à un procédé particulier adapté aux ouvrages souterrains, afin de permettre aux autorités d'évaluer le projet et, le cas échéant, de l'accepter, malgré les questions restées ouvertes:

- Dans une **première étape**, il s'agit d'établir un rapport sur la **situation hydrogéologique** dans le périmètre d'influence du projet et d'exposer les incertitudes concernant les quantités d'eau attendues en se basant, d'un point de vue hydrogéologique, sur différentes conditions possibles concernant les eaux souterraines.
- Dans la **deuxième étape**, on exposera les impacts attendus du projet sur l'environnement. A cause des divers pronostics hydrogéologiques possibles, plusieurs **scénarios des impacts** seront généralement proposés.
- Dans une **troisième étape**, on élaborera pour chaque scénario des impacts des mesures destinées à éviter les conséquences négatives du projet pour l'environnement (**scénario des mesures**).
- La **quatrième étape** consiste à établir un **programme de monitoring** et à présenter les critères d'après lesquels les mesures prévues pour les différents scénarios des impacts sont déclenchées.

Ce procédé permet à l'autorité d'évaluer un projet de construction souterraine du point de vue de sa compatibilité avec l'environnement dans le domaine spécifique de l'hydrogéologie, avant que tous les facteurs d'importance hydrogéologique ne soient connus dans leurs moindres détails. Les impacts du projet de construction pourront ainsi être réduits au strict minimum, de sorte que des modifications à long terme du régime des eaux souterraines, avec toutes les conséquences qu'elles entraîneraient, puissent être évitées.

1. INTRODUCTION

1.1 Point de la situation

Contrairement aux projets de constructions en surface et d'ouvrages souterrains peu profonds, dont l'impact sur l'environnement peut être prédit – au moyen d'études appropriées – de manière relativement sûre, les ouvrages souterrains profonds ou situés dans un contexte géologique complexe ont des conséquences dont la prédiction reste incertaine, malgré les moyens importants investis dans leur étude. Les incertitudes concernent en particulier les influences sur les conditions hydrogéologiques. Le rédacteur du rapport d'impact reste ainsi incapable de décrire de façon définitive les impacts de l'ouvrage sur les eaux souterraines, ce qui serait cependant indispensable pour évaluer la compatibilité du projet avec l'environnement. Durant la phase de planification, il sera donc nécessaire d'émettre des hypothèses sur la possibilité de rencontrer d'importantes quantités d'eau souterraine, en se basant sur des conditions concrètement attendues à l'intérieur du massif rocheux, et de préparer les conclusions qui en découlent sous forme de « scénarios » (terme employé dans les présentes instructions pour désigner ces éléments du projet). Les mesures applicables légalement en présence d'un tel événement sont à présenter de façon logique et précise dans le rapport technique ou le rapport d'impact à l'autorité responsable de la phase d'autorisation. On fournira ainsi à l'autorité les moyens de confirmer la compatibilité du projet avec l'environnement.

Les présentes instructions décrivent la manière dont le rapport d'étude d'impact sur l'environnement (rapport EIE) de constructions souterraines peut être rédigé – malgré les incertitudes mentionnées – à l'aide d'**analyses des scénarios**, en prenant en considération les impacts possibles de l'ouvrage (**scénarios des impacts**) et en élaborant des mesures préventives à leur égard (**scénarios des mesures**). Une introduction à ce sujet a été publiée pour la première fois dans le cahier de l'environnement n°231, « Grundwasserschutz bei Tunnelbauten » (OFEFP 1994, en allemand uniquement). Elle est issue de la discussion du 4 mars 1993 entre les maîtres d'œuvre, des spécialistes des tunnels et les autorités impliquées dans le cadre des tunnels prévus d'AlpTransit. Les présentes instructions ne concernent cependant pas uniquement ces grands projets de tunnels, mais s'appliquent à tout ouvrage souterrain (tunnel, caverne, galerie, etc.).

1.2 Objectifs

Le but de ces instructions est de présenter la marche à suivre pour l'élaboration des analyses des scénarios relatives aux ouvrages souterrains. Cette analyse est indispensable pour permettre à l'autorité d'évaluer la compatibilité d'un ouvrage avec l'environnement, même lorsque les conditions hydrogéologiques du périmètre du projet ne sont pas encore connues en détail.

Les présentes instructions sont destinées aux maîtres d'œuvre, aux ingénieurs du projet et aux rédacteurs du rapport EIE ainsi qu'aux autorités impliquées dans les procédures d'autorisation d'ouvrages souterrains. Elles décrivent les aspects devant être traités à chaque étape d'une procédure d'autorisation et la marche à suivre pour évaluer la compatibilité du projet avec l'environnement en se basant sur les scénarios.

Lorsqu'une analyse des scénarios a été effectuée et que des mesures correspondantes ont été élaborées à titre préventif, il peut être admis que la protection des eaux souterraines est garantie. On veillera toutefois à établir également des contrôles et des surveillances au moment de la réalisation.

1.3 Bases juridiques

Du point de vue de la législation fédérale sur la protection de l'environnement, la loi du 24 janvier 1991 sur la protection des eaux (LEaux, RS 614.20) est le texte le plus important qui s'applique aux ouvrages souterrains. Cette loi a pour but de protéger les eaux de surface et les eaux souterraines contre toute atteinte nuisible d'un point de vue qualitatif ou quantitatif (art. 1 et 2 LEaux). Font partie des eaux souterraines, d'après la loi, les eaux souterraines stricto sensu (dans la loi les eaux du sous-sol), les formations aquifères, le substratum imperméable et les couches de couverture. Le terme d'eaux souterraines stricto sensu comprend aussi bien les eaux des nappes que celles des sources (art. 4 LEaux). L'eau des formations rocheuses fait également partie des eaux souterraines au sens de la LEaux, c'est pourquoi les prescriptions en matière d'eau souterraine, tout comme la norme DIN 4049, s'y appliquent également.

En ce qui concerne les ouvrages souterrains, est particulièrement important l'art. 43 de la LEaux qui dispose que, pour le maintien des ressources en eaux souterraines:

- les prélèvements opérés dans une nappe d'eau souterraine ne doivent pas, à *long terme*, dépasser la quantité d'eau qui l'alimente;
- les prélèvements peuvent toutefois excéder *temporairement* les apports, à condition qu'ils ne portent préjudice ni à la qualité des eaux souterraines, ni à la végétation;
- les communications permanentes entre des nappes souterraines sont interdites si une telle intervention peut diminuer les réserves en eaux souterraines ou altérer leur qualité;
- les constructions ne doivent pas avoir pour effet de réduire de *façon notable et permanente* la capacité du réservoir, ni l'écoulement des nappes souterraines exploitables.

En ce qui concerne le déversement d'eau de tunnel dans des eaux de surface ou des eaux souterraines, c'est l'art. 6 de la LEaux qui fait autorité. Celui-ci interdit de polluer les eaux. Conformément à l'art. 4, let. d, de la LEaux, une pollution est une altération nuisible des propriétés physiques, chimiques ou biologiques de l'eau. Appliqué aux ouvrages souterrains, cela signifie que l'eau qui s'en écoule doit être traitée lorsqu'elle risque de polluer les eaux dans lesquelles elle se déverse. Les eaux de drainage ne posant aucun problème aux points de vue chimique et physique sont à infiltrer dans le sol, lorsque les conditions locales le permettent.

Conformément à l'art. 45 de la LEaux, les cantons exécutent cette loi. Toutefois, selon l'art. 48 de la LEaux, la Confédération exécute cette loi lorsqu'une autorité fédérale est, dans l'accomplissement de cette tâche, compétente pour l'application d'une autre loi fédérale ou d'un traité international. Ceci est le cas p. ex. pour les chemins de fer.

Les présentes instructions doivent garantir une exécution appropriée et uniforme de la législation pour ce qui est de la protection des eaux souterraines lors de constructions souterraines. Elles n'ont pas valeur de loi ou de disposition, mais sont plus contraignantes qu'une simple recommandation. Des écarts par rapport aux instructions sont autorisés dans la mesure où l'objectif visé par la loi, l'ordonnance et les instructions est atteint d'une autre manière. Par conséquent, lorsqu'un requérant

se conforme aux instructions de la présente directive, il a la certitude que l'autorité accepte les bases élaborées du point de vue de la méthodologie. Dans le cas contraire, il s'expose au risque de ne pas réussir à apporter cette preuve.

2. PROTECTION DES EAUX SOUTERRAINES ET DES EAUX DE SURFACE CONTRE LA POLLUTION LORS DE CONSTRUCTIONS SOUTERRAINES

2.1 Aspects de la protection des eaux concernés

Durant leur construction, leur exploitation, leur entretien et leur démolition, les constructions souterraines et les installations associées peuvent avoir des impacts sur les eaux au sens de la LEaux.

Dans les présentes instructions, on entend par exploitation les activités nécessaires à la réalisation de toutes les possibilités d'utilisation visées par l'ouvrage. N'est pas traitée l'exploitation qui a lieu dans le cadre de l'ouvrage (p. ex. stockage de substances résiduelles, transport de marchandises dangereuses, stockage de liquides pouvant altérer les eaux, etc.); des directives spécifiques règlent ces cas.

Durant les différentes phases d'un ouvrage souterrain, divers aspects de la protection des eaux peuvent être concernés:

Ainsi, dans le **cadre de la planification**, on veillera à ne pas toucher directement des zones et des périmètres de protection des eaux, en tenant compte de tous les niveaux hydrogéologiques de la construction. En outre, le débit et le volume-réservoir des aquifères doivent être préservés dans l'ensemble, et la modification des conditions hydrogéologiques par la formation d'un court-circuit doit être évitée. Le plan de gestion des matériaux, y compris du dépôt intermédiaire, est à élaborer en tenant compte des parties solubles des matériaux d'excavation, tels que les sulfates et/ou les impuretés issues du chantier.

Durant la **phase de chantier**, une influence à court terme sur le régime de la nappe d'eau souterraine est tolérable, à condition qu'elle ne nuise pas à la végétation. Dans le cas d'un déversement dans une autre eau, les conditions correspondantes sont à respecter, et des mesures préventives doivent assurer que ces conditions sont respectées également en cas d'accident. Les procédés de construction seront adaptés aux prescriptions en matière de protection des eaux.

Pendant la **phase d'exploitation et d'utilisation**, aucune atteinte au régime des eaux souterraines ayant des conséquences pour l'approvisionnement en eau potable, pour les cultures, pour les biotopes et pour les constructions ne doit avoir lieu. On s'assurera que les ressources de l'aquifère sont conservées, c'est-à-dire qu'à long terme, les prélèvements opérés dans la nappe ne sont pas supérieurs à la recharge. L'eau de drainage provenant d'ouvrages souterrains doit être déviée de manière à ce qu'elle ne puisse pas être polluée, même en cas d'accident. Lorsqu'une eau souterraine drainée est déversée dans un cours d'eau, on veillera à ce que le réchauffement de ce dernier ne dépasse pas 3°C, ou 1,5°C dans le cas d'eaux de frai. La température du cours d'eau ne devra pas excéder 25°C.

Lors de la **démolition d'un ouvrage souterrain**, on veillera en particulier à maintenir les conditions naturelles de la nappe d'eau souterraine, c'est-à-dire à ne créer aucun court-circuit, ni de nouveaux cheminements des eaux.

2.2 Conséquences

Les points traités au chapitre 2.1 qui sont susceptibles de donner matière à une opposition plus ou moins importante entre les intérêts défendus par la protection des eaux souterraines et le projet feront l'objet du rapport d'expert en matière de protection des eaux souterraines, dans le rapport d'impact sur l'environnement (pour la phase de chantier et d'exploitation). Le maître d'œuvre veillera à intégrer au projet les exigences définies dans le rapport EIE ou à prévoir les mesures appropriées.

Pour les installations qui ne sont pas soumises à une étude d'impact sur l'environnement (EIE), on procédera de façon analogue. L'examen, adapté à chaque étape du projet et au type d'installation, permet de déterminer quels sont les aspects de la protection des eaux concernés par le projet, quelles sont les conséquences prévisibles et les mesures de protection prévues. Il reste essentiel pour la décision d'autorisation, indépendamment de l'obligation de procéder à une EIE.

La difficulté liée à l'incertitude de prédiction de certains projets souterrains, déjà évoquée dans l'introduction (profondeur et/ou conditions géologiques particulièrement complexes), conduit obligatoirement à une façon particulière de procéder lorsqu'il s'agit de décider de l'octroi d'une autorisation.

Cette façon particulière de procéder se fonde sur **l'analyse des scénarios**, qui décrit les situations hydrogéologiques probables par étapes, en prenant en considération des hypothèses optimistes et pessimistes. Les résultats de l'analyse des scénarios servent de base à l'analyse des **scénarios des impacts**, qui permet à son tour d'élaborer les **scénarios des mesures**.

On demande donc au requérant de décrire la situation hydrogéologique dans laquelle s'inscrit le projet et de relever les incertitudes. Il devra exposer les impacts importants dus au projet, et proposer une ou plusieurs mesures efficaces pour chaque impact. Il expliquera en outre comment s'effectueront l'examen, le contrôle et la surveillance des scénarios, afin de permettre à l'autorité de trancher si, du point de vue de la protection des eaux souterraines, le projet est compatible avec l'environnement et de décider de l'octroi d'une autorisation.

Le déroulement des différentes phases est exposé de façon détaillée dans les chapitres 3 et 4. On trouvera des remarques concernant la méthodologie des analyses de scénarios dans l'annexe I des présentes instructions.

2.3 Déroulement de la procédure

La planification des ouvrages souterrains s'effectue conformément à la procédure d'autorisation de l'ouvrage en entier. Les procédures en question relèvent, selon le type d'installation, de la compétence cantonale ou fédérale. Elles peuvent se dérouler en une, deux ou trois étapes. L'obligation de procéder à une EIE est régie par l'ordonnance du 19 octobre 1988 relative à l'étude de l'impact sur l'environnement (OEIE).

Les conditions requises pour le contrôle et la surveillance des impacts sur l'environnement pendant les phases de chantier et d'exploitation, notamment le type et l'étendue des mesures et les comptes rendus, sont proposées par le requérant et/ou le rédacteur du rapport EIE dans le cadre d'un plan de contrôle et de surveillance, et portées à la connaissance de l'autorité compétente. Lorsque la démonstration de la compatibilité avec l'environnement se base sur l'analyse des scénarios (méthodo-

logie selon annexe I), il faut notamment montrer, pour chaque décision concernant le projet, le critère selon lequel elle a été prise.

3. ÉTABLISSEMENT DU RAPPORT EIE POUR LA PROTECTION DES EAUX

Remarque préliminaire: dans les dispositions légales, les étapes de la procédure sont désignées par des termes qui peuvent varier d'un type d'installation à un autre.

Pour simplifier, et puisque ces deux étapes doivent être accomplies dans le cadre de nombreux projets, nous décrirons ci-après les étapes projet général/avant-projet et projet d'exécution/projet de construction. Pour les procédures ne comportant qu'une étape, le degré de détail du projet d'exécution/projet de construction est requis.

3.1 Projet général/avant-projet

3.1.1 Contenu du rapport EIE pour le projet général/l'avant-projet

Avant l'établissement du rapport EIE pour le projet général/l'avant-projet, une enquête préliminaire et un cahier des charges doivent être élaborés. Pour se procurer des informations, il est recommandé de recourir principalement au dépouillement de cartes géologiques et hydrogéologiques, de cartes de protection des eaux, aux archives des cantons et de la Confédération ainsi qu'à la littérature publiée. Comme les données relatives au projet dont on dispose à ce stade sont souvent peu détaillées, et vu la densité généralement élevée de l'information en Suisse, le degré de détail ainsi obtenu est souvent suffisant pour reconnaître des conflits potentiels fondamentaux du point de vue de la LEaux.

La tâche du rapport EIE pour le projet général / l'avant-projet est, en connaissance du projet:

- de décrire l'état actuel des connaissances et déterminer si les données géologiques, hydrogéologiques et hydrochimiques **existantes** sont suffisantes pour démontrer la compatibilité du projet avec l'environnement;
- de reconnaître et de décrire les conflits d'intérêt avec les prescriptions en matière de protection des eaux (zones de protection, périmètres de protection des eaux souterraines, secteurs de protection des eaux et eaux de surface) ainsi qu'avec d'autres domaines impliqués, dans la mesure où l'état actuel des connaissances le permet;
- de déterminer de façon aussi précise que possible le périmètre d'influence dans lequel il faut s'attendre à des impacts;
- de reconnaître le cas échéant et de décrire à l'intention de l'auteur du projet les contraintes qui se dessinent déjà du point de vue de la protection des eaux souterraines;
- d'évaluer si les impacts prévisibles du projet sont à considérer comme significatifs du point de vue de la protection des eaux souterraines;
- d'évaluer sommairement les impacts du projet (des programmes de sondages dans le cadre d'un projet général ou d'un avant-projet ne sont à prévoir que si les informations disponibles sur les conditions géologiques et hydrogéologiques ne sont pas suffisantes pour évaluer les conflits);

- de démontrer que des mesures appropriées permettent de maintenir les impacts dans des limites acceptables pour l'environnement.

3.1.2 Cahier des charges pour le projet définitif/le projet de mise à l'enquête publique

Le cahier des charges pour l'étape EIE suivante (enquête principale) doit:

- établir quelles sont les études jugées utiles pour chaque périmètre, afin de permettre une évaluation des influences qualitatives et quantitatives du projet;
- annoncer clairement le degré de détail du rapport de l'enquête principale, montrer les aspects spécialement évalués et présenter les informations manquantes ainsi que les méthodes d'investigation prévues pour les obtenir;
- citer les informations ne pouvant manifestement pas être obtenues à un coût raisonnable, énumérer les aspects environnementaux pour lesquels les impacts doivent par conséquent être définis dans le cadre d'une analyse des scénarios et les mesures à prévoir pour réduire les impacts.

3.1.3 Evaluation par le service de protection de l'environnement

Le service compétent évalue le rapport EIE et le cahier des charges, et formule des requêtes dont le but est d'assurer la compatibilité du projet avec l'environnement du point de vue de la LEaux.

3.2 Projet définitif/projet de mise à l'enquête publique

3.2.1 Généralités

L'enquête principale aboutit aux résultats d'études et aux preuves qui, selon l'enquête préliminaire, sont considérés comme déterminants pour la description des impacts du projet sur l'environnement. En outre, les études sont approfondies lorsque c'est nécessaire, et des mesures de protection ainsi que des stratégies de surveillance sont élaborées.

De manière générale, il convient de vérifier si le projet de construction peut engendrer des modifications essentielles au niveau de la situation hydrogéologique, en tenant compte des conditions géologiques et hydrogéologiques, et d'examiner si ces modifications sont susceptibles de provoquer des effets nuisibles importants sur l'environnement en surface à court, moyen ou long terme. Le résultat de cette évaluation influence l'élaboration des modèles hydrogéologiques ainsi que la planification et l'ampleur des surveillances nécessaires (p. ex. débits de cours d'eau, débits des sources).

Le compte rendu de l'ensemble des aspects déterminants de la protection des eaux souterraines est présenté dans le rapport hydrogéologique (voir 3.2.2). On trouvera une liste exhaustive des points à traiter dans les Informations concernant l'étude de l'impact sur l'environnement n° 5 (Le domaine protection des eaux et pêche dans le cadre d'une EIE) et n° 7 (EIE et infrastructures routières).

Dans ce contexte, la question se pose de savoir à quel moment il convient de procéder à l'analyse des scénarios. Elle sera effectuée de préférence au début de l'enquête principale. Cependant, on

indiquera dans tous les cas quels sont les observations, les seuils de mesure ou les autres informations utilisés pour vérifier la justesse des scénarios et la manière dont se prennent les décisions concernant le choix de la variante du projet à exécuter (selon quels critères les mesures sont-elles prises ?).

On trouvera des indications relatives à la réalisation d'une analyse des scénarios dans les annexes I et II des présentes instructions. Elles indiquent comment cette analyse peut être réalisée pour des projets profonds ou difficilement explorables, sur la base de l'approbation du cahier des charges.

3.2.2 Définition de l'état actuel; rapport hydrogéologique

Les données issues du projet général/de l'avant-projet décrivant l'état actuel doivent être approfondies dans le rapport hydrogéologique. On effectuera tout d'abord un examen global des conditions hydrogéologiques du périmètre d'étude. Le rapport analyse au mieux l'état actuel et sert de base pour les phases suivantes. Pour cela, le projet doit être subdivisé en différentes parties cohérentes. L'évaluation des effets de la construction souterraine sur les eaux souterraines s'appuie sur le cahier des charges de l'EIE et devrait contenir les indications ci-dessous concernant l'ouvrage ou ses différentes parties. Le degré d'investigation se conforme aux besoins du projet et à ses effets prévisibles sur l'environnement.

Contenu du rapport hydrogéologique:

- description de la géologie dans le périmètre d'influence;
- bilan hydrologique de la zone étudiée (précipitations, affluents, évaporation, écoulement);
- description des caractéristiques de surface dans le périmètre d'influence (sources et captages des eaux souterraines (cadastre), zones humides, cours d'eau, etc.);
- interprétation de l'évolution des niveaux piézométriques et des débits des sources importantes pendant plusieurs années;
- conditions d'infiltration et d'exfiltration, y compris documentation sur les éventuels essais de pompage et de traçage;
- description des conditions hydrogéologiques dans le périmètre d'étude, y compris profondeur du niveau piézométrique;
- caractérisation chimique, physique et bactériologique de l'eau des aquifères concernés et des sources ayant un intérêt public, à titre de preuve utilisable en cas de besoin;
- situation des décharges et des sites contaminés ainsi que leur influence sur les eaux souterraines (en particulier lorsque le projet provoque une élévation du niveau de la nappe d'eau souterraine);
- établissement d'un modèle hydrogéologique global (modèle conceptuel) sur la base des données relevées; évaluation des relations entre lithologie et perméabilité pour les aquifères fissurés et karstiques, évaluation de la géométrie et de la distribution des interfaces et des discontinuités, ainsi que du développement des systèmes karstiques (hétérogénéité de la perméabilité); si possible quantification du modèle conceptuel à l'aide de simulations hydrauliques, comme base pour l'estimation ultérieure de l'effet des constructions sur le régime des eaux souterraines;
- inventaire des documents utilisés.

Annexes

La surface totale du périmètre étudié doit être représentée sur les plans. Selon la surface du projet, l'échelle sera de 1:25'000 ou de 1:10'000. Les annexes servent à visualiser les changements au niveau des conditions hydrologiques et hydrogéologiques dus aux installations prévues. Les indications suivantes doivent y figurer:

Cartes

- périmètre étudié;
- projet avec toutes les constructions annexes ainsi que les emprises provisoires, telles que les décharges de matériaux d'excavation, les dépôts intermédiaires de matériel, les installations de chantier, etc.;
- secteurs de protection des eaux, zones et périmètres de protection des eaux souterraines, captages d'eau souterraine ainsi que sources utilisées;
- sites contaminés, décharges non concernées par le projet et éventuellement dépôts contenant des substances susceptibles de contaminer les eaux;
- eaux de surface (cours d'eau, lacs), lignes de partage des eaux morphologiques et orographiques, aires d'émergence, sources et zones humides;
- description du bassin d'alimentation des eaux souterraines;
- nappe d'eau souterraine avec dimensions et situation du niveau piézométrique moyen, secteurs captifs;
- sondages avec piézomètres (réseau d'observation);
- carte piézométrique de l'état initial et de l'état après la construction des installations projetées (éventuellement carte des différences);
- directions, cheminements et vitesses des écoulements souterrains avant le début des travaux et après la construction des installations projetées (éventuellement carte des différences);
- conditions d'infiltration et d'exfiltration avant le début des travaux et après la construction des installations projetées (éventuellement carte des différences).

Profils

- répartition roche solide / roche meuble;
- situation des aquifères et des aquicludes;
- perméabilité des milieux et caractéristiques aquifères;
- niveaux piézométriques avec zones de fluctuation;
- profil type de la construction avec les conduites d'évacuation des eaux.

3.2.3 Impact du projet sur l'environnement (scénarios des impacts)

Le but des études hydrogéologiques du point de vue de l'environnement est de présenter l'impact hydrogéologique du projet et de le confronter aux exigences de la protection des eaux souterraines.

Etat des connaissances

A l'aide des informations contenues dans le rapport hydrogéologique, il est possible d'estimer:

- si l'état des connaissances est suffisant pour prévoir l'impact des constructions souterraines sur les eaux souterraines;
- ou alors si l'état des connaissances est si lacunaire que la conformité à la LEaux doit être démontrée à l'aide de différents scénarios des impacts et des mesures associées (variantes du projet).

L'analyse hydrogéologique d'un projet de construction souterraine dépend dans une large mesure de l'exactitude de l'expertise hydrogéologique. Pour cela, il faut prendre en considération le fait que les possibilités de prévisions géologiques et hydrogéologiques peuvent fortement diminuer avec la profondeur d'investigation. En principe, deux cas avec des certitudes de pronostic différentes peuvent être distingués:

➔ **Certitude de pronostic bonne à très bonne**

Il est possible de procéder aux investigations de manière conventionnelle à partir de la surface du sol et cela donne une bonne connaissance du comportement du sous-sol.

➔ **Certitude de pronostic faible à moyenne**

Des investigations à grande profondeur sont réalisables uniquement au moyen de techniques exigeantes et d'investissements financiers élevés.

Arrivées d'eau et impacts

Dans de nombreux cas, particulièrement lorsqu'il s'agit d'ouvrages allongés traversant différentes unités hydrogéologiques, il sera indiqué d'effectuer une subdivision par section d'arrivées d'eau, afin de pouvoir appliquer une méthodologie différenciée. Pour chaque partie de l'ouvrage, les effets quantitatifs et qualitatifs sur l'environnement doivent être estimés en fonction des arrivées d'eau attendues et donc d'un éventuel drainage du sous-sol.

Les principaux critères pour la détermination des arrivées d'eau sont la pression hydrostatique (qui dépend de la situation de l'ouvrage par rapport au niveau piézométrique), la perméabilité du sous-sol ainsi que le type d'aquifère. L'ensemble de ces critères permet de définir les arrivées d'eau sur l'ouvrage planifié. On trouvera des propositions à ce sujet dans le chapitre 2 «Grundwasserschutz bei Tunnelbauten», rapport de base de l'OFEFP, cahier de l'environnement n° 231, 1994. Elles sont représentées de façon simplifiée dans les tableaux 3-1 et 3-2 ci-après. Dans ce contexte, le choix entre les deux approches – hydraulique ou hydrogéologique – utilisées pour caractériser les arrivées d'eau sur l'ouvrage souterrain est sans importance. Surtout dans les roches meubles, un modèle de simulation numérique permet de procéder à une analyse des effets sur le bilan hydrique souterrain.

Arrivées d'eau selon des critères hydrogéologiques

	Type d'aquifère			
	Aquifère en milieu poreux	Fissures isolées	Aquifère en milieu fissuré	Aquifère karstique
Zone non saturée (vadose)	très faibles	faibles	faibles	faibles à moyennes
Zone de fluctuation de la nappe	très faibles	faibles	temporairement moyennes à importantes	temporairement très importantes
Zone saturée (phréatique)	très faibles à importantes	faibles à importantes	moyennes à importantes	moyennes à très importantes

Arrivées d'eau

faibles
moyennes
importantes

Tableau 3-1: Critères hydrogéologiques caractérisant les arrivées d'eau vers un ouvrage souterrain

Arrivées d'eau selon des critères hydrauliques

		Perméabilité	
		faible	forte
Pression hydrostatique	faible	<p><i>Aquifère en milieu poreux ou fissuré, p. ex.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> tunnel dans une roche meuble cohérente ; tunnel peu profond dans une roche solide. 	<p><i>Aquifère en milieu poreux ou fortement fissuré/karst, p. ex.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> tunnel dans une roche meuble ; tunnel peu profond dans un massif rocheux fortement fissuré ou karst
	forte	<p><i>Aquifère en milieu poreux ou fissuré, p. ex.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> tunnel profond dans un massif rocheux (peu fissuré) 	<p><i>Fissures importantes/karst, p. ex.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> tunnel profond dans zones de fractures ou massif rocheux très fortement fissuré ou karst

Arrivées d'eau

faibles

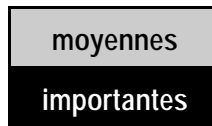


Tableau 3-2: Critères hydrauliques caractérisant les arrivées d'eau vers un ouvrage souterrain

Afin d'évaluer les impacts possibles des différentes sections du projet, l'équipe responsable du projet devra dans chaque cas se poser la question suivante: « Quels sont les arguments plaidant pour ou contre des arrivées d'eau dans la section étudiée? »

Pour les impacts, trois cas se présentent généralement:

- **A:** Au sens de la loi sur la protection des eaux souterraines, le projet n'influe pas sur le bilan hydrique souterrain et n'a par conséquent aucun effet sur l'environnement en surface.
- **B:** Le projet influence le comportement des eaux souterraines. Ceci n'a cependant pas d'effet sur l'environnement en surface.
- **C:** Le projet influence les eaux souterraines et/ou les eaux de surface.

Dans le cas **C**, les **scénarios des impacts** suivants sont imaginables:

- Scénario **C_a**; **sources:**
Influence de l'ouvrage souterrain sur le régime des sources.
- Scénario **C_b**; **régime des cours d'eau:**
Influence sur le régime d'un cours d'eau par déversement, drainage, variation relative des niveaux entre la nappe d'eau souterraine et le cours d'eau récepteur.
- Scénario **C_c**; **zones humides:**
Effet sur le comportement des eaux dans les zones humides ; par l'abaissement des niveaux piézométriques, de telles zones peuvent temporairement ou même définitivement ne plus être inondées. A l'inverse, une hausse du niveau piézométrique peut provoquer la formation d'un marécage, et par là donner naissance à de nouvelles zones humides. Les deux possibilités provoquent des modifications indésirables de la flore et de la faune.
- Scénario **C_d**; **végétation:**
D'autres effets sur la végétation et l'exploitation; le tarissement de sources peut rendre impossible l'élevage sur tout un alpage, en raison par exemple de la disparition d'une possibilité d'abreuver.
- Scénario **C_e**; **qualité de l'eau dans les cours d'eau:**
Influence de la construction souterraine sur la qualité des eaux (propriétés chimiques et physiques) des ruisseaux et des rivières, p. ex. suite à un changement des conditions d'infiltration et d'exfiltration, du déversement d'eaux profondes tempérées, par ailleurs souvent plus fortement minéralisées. Les conditions de vie de tronçons entiers de rivières peuvent ainsi être changées.
- Scénario **C_f**; **captages:**
Effet sur des captages d'eau potable existants ou planifiés; une restriction tant quantitative que qualitative de l'eau souterraine exploitable est possible. Dans certains cas, les captages existants peuvent ne plus être exploitables dans les mêmes proportions qu'auparavant.

- Scénario **C_g**; **mouvements de terrain**:

Des mouvements de terrain peuvent se manifester même après une modification de courte durée du niveau de la nappe durant la phase de chantier, avec pour conséquence des dégâts aux bâtiments et aux installations d'infrastructure. Le drainage du sous-sol interrompt la poussée ascensionnelle ou la fonction de soutien de la roche ou du sol, provoquant des tassements. Une élévation du niveau de la nappe peut à son tour provoquer une élévation de la poussée et par conséquent des soulèvements et/ou des instabilités de pente.

- Scénario **C_n**; **écoulement**:

Les constructions provoquent une diminution notable et durable de l'écoulement et du volume de stockage des aquifères exploitables. Si aucune mesure supplémentaire n'est prise (p. ex. bypass), l'ouvrage traversant les eaux souterraines crée un effet de barrage sur leur écoulement (effet de barrière), provoquant une réduction du débit de la nappe, mais aussi du volume de stockage.

Probabilité d'événement

La probabilité d'événement et les conséquences pour les différents scénarios sont à estimer en se basant sur les données du rapport hydrogéologique. La probabilité peut être indiquée de façon quantitative (en %) ou qualitative (probable, possible, improbable). Il est également important de savoir s'il s'agit d'impacts durables (provoqués par l'ouvrage) ou seulement passagers (dus à une étape du chantier).

Plusieurs facteurs entrent en ligne de compte pour l'évaluation de la probabilité d'événement:

- L'incertitude du pronostic concernant l'importance des paramètres déterminants du système (porosité de fissures, perméabilités, ampleur des variations des pressions), issus de l'expertise hydrogéologique (p. ex.: « La source considérée est-elle située à l'intérieur ou à l'extérieur du périmètre d'influence supposé du tronçon de tunnel ? »).
- Relations causales mal connues (p. ex. : « La fissuration de la roche peut-elle vraiment signifier une atteinte à la qualité de la source par un projet situé 200 m plus bas ? »).

Exemple

La probabilité d'événement pour chaque scénario d'impact est présentée et justifiée ci-dessous à l'aide d'un exemple concret. **L'exemple** pourrait se rencontrer au **Tessin**. Il décrit une section de projet dans une roche peu fissurée, non karstique.

Scénario des impacts		Probabilité d'événement d'une altération des eaux souterraines	Justification
A		nulle	les fissures conductrices d'eau peuvent avoir une liaison avec la surface
B		possible, mais peu probable	la probabilité de recouper une voie d'eau qui se dirige vers la surface est relativement grande
C_a	sources	probable	sources profondes dans le périmètre d'influence
C_b	régime des cours d'eau	improbable	le projet ne prévoit pas le déversement de grandes quantités d'eau dans un cours d'eau
C_c	zones humides	possible	zone humide située dans la zone limitrophe du périmètre d'influence
C_d	végétation	impossible	une grande partie du périmètre d'influence est dépourvue de végétation
C_e	qualité de l'eau dans le cours d'eau	impossible	le projet ne prévoit pas le drainage de grandes quantités d'eau
C_f	captages	impossible	pas d'exploitation d'eau potable dans le périmètre d'influence
C_g	mouvements de terrain	impossible	terrain quasiment non bâti, quelques bâtiments avec les fondations sur de la roche
C_h	écoulement	impossible	la section d'écoulement actuelle est diminuée de façon insignifiante

Tableau 3-3: Exemple d'un tronçon de tunnel dans une roche peu fissurée, non karstique

3.2.4 Mesures proposées pour éviter les impacts sur l'environnement (scénarios des mesures)

Lorsque les probabilités de différents scénarios sont du même ordre de grandeur et que les conséquences prévues sont telles que des conflits d'intérêt avec la protection des eaux souterraines sont à craindre, le projet doit attribuer à chaque impact des mesures (entre autres constructives) destinées à l'éviter.

Les mesures prévues (pour chaque tronçon de tunnel) doivent traduire les intentions du maître d'œuvre et démontrer à l'autorité que les exigences légales en matière de protection des eaux souterraines peuvent probablement être respectées (niveau du scénario A). Un paquet de mesures peut concerner différents scénarios d'impact.

Les mesures prévues par le projet ou par le rapport technique qui s'y rapporte sont à spécifier de manière exhaustive:

- énumération des mesures envisageables;
- représentation du mode d'action de la mesure;
- exposition de la raison pour laquelle la mesure prévue est efficace à long terme dans les conditions existantes;
- coûts supplémentaires occasionnés par la réalisation de la mesure en question.

Pour être en mesure de garantir une bonne sécurité du système, on choisira les mesures en tenant compte pratiquement de toutes les incertitudes. Cela signifie que dans les cas de procédures d'autorisation difficiles, les paquets de mesures doivent être prévus de manière suffisamment large. Au fur et à mesure que le percement avance, on s'attend à une diminution constante des incertitudes et par conséquent à une amélioration de l'état des connaissances. Le nombre de mesures dont la réalisation serait envisageable diminue dès lors constamment lui aussi.

Il est toutefois important de noter que la multiplication des variantes du projet engendrée par la méthodologie proposée peut alourdir la procédure de soumission des travaux. Il est recommandé d'organiser le projet de soumission en conséquence. En particulier, on sera très clair quant à la possibilité d'admettre éventuellement de nouvelles variantes.

L'annexe III de ces instructions présente des situations et des exemples de cas pouvant servir d'aide à l'élaboration des propositions lors de la rédaction du rapport d'impact ou à leur mise en pratique lors de l'établissement du projet.

3.2.5 Programme de surveillance

L'auteur du projet présente un programme de surveillance qui décrit la façon dont il compte reconnaître d'éventuels impacts de l'ouvrage souterrain sur les eaux souterraines durant la phase de chantier et au début de la phase d'exploitation (monitoring). Le programme définit les investigations à mener, les points d'observation, l'intervalle entre les mesures ainsi que la durée du programme de mesure, et fixe qui doit exécuter les mesures et qui prend connaissance des résultats.

Toutes les **sources** présentes dans le périmètre d'influence de l'ouvrage planifié doivent être répertoriées par le géologue du projet. Les données concernant leur débit – y compris sa variation –, les paramètres chimiques et physiques (conductivité électrique, température et, si nécessaire, analyse de paramètres spécifiques ou globaux) sont à caractériser et à documenter. Le même procédé est valable de façon analogue pour **les nappes**. Après avoir évalué ces observations et les avoir mises en relation avec les connaissances hydrogéologiques régionales générales, l'auteur du projet doit élaborer le **plan de surveillance** proprement dit.

Le plan de surveillance

- définit le choix des sources ou des points d'observation des eaux souterraines à surveiller et détermine le rythme et la durée des mesures ainsi que les observations qualitatives (analytique) éventuellement nécessaires;
- indique comment les scénarios d'impacts précédemment décrits peuvent être reconnus;
- explique comment, une fois les impacts sur les eaux souterraines reconnus, le maître d'œuvre compte mettre les mesures en pratique (décisions sous réserve) et contrôler leur efficacité.

Le plan de surveillance doit être présenté de sorte que l'autorité de contrôle puisse comprendre la manière dont ont été élaborées les mesures prévues et ainsi juger de leur adéquation.

Au cours de l'élaboration du projet, ou dans le rapport EIE, le maître d'œuvre doit donc démontrer de manière plausible que tout impact du projet sur les sources, les nappes et la végétation peut être exclu, ou alors il doit prévoir un programme de surveillance permettant de reconnaître à temps ces impacts et de recourir à des mesures ciblées.

3.2.6 Evaluation par l'autorité de protection de l'environnement

L'autorité de protection de l'environnement évalue si tous les aspects cités dans les chapitres précédents ont été présentés et s'ils sont plausibles du point de vue des prescriptions de la protection des eaux souterraines. Le cas échéant, elle émet des réserves et établit des conditions supplémentaires à respecter. L'autorité de protection de l'environnement est notamment responsable d'évaluer si tous les impacts touchant les eaux souterraines sont relevés dans le rapport EIE et si des mesures adéquates sont élaborées dans le projet. Elle examine les mesures envisagées (scénarios du type « si, alors », décisions sous réserve) et leur poids en vue des décisions à prendre. L'autorité évalue en outre si pour toutes les phases de projet et de chantier, le monitoring et la surveillance sont appropriés et suffisants du point de vue de la protection des eaux souterraines.

4. VÉRIFICATION ET MONITORING APRÈS L'APPROBATION DU PROJET

4.1 Réalisation du programme de surveillance

Il faut attendre la **phase de chantier** pour pouvoir vérifier que les impacts supposés se produisent réellement et que les mesures prévues sont adéquates. Ce constat se base p. ex. sur:

- le monitoring de sources sélectionnées, les points de mesure des eaux souterraines et des eaux superficielles choisis dans le périmètre d'influence de l'ouvrage souterrain, dans le cadre du programme de surveillance;
- l'observation et l'analyse permanente des conditions géologiques, hydrogéologiques et tectoniques par le géologue du projet au cours de l'avancement des travaux; l'adaptation du modèle géologique et hydrogéologique;
- les sondages de reconnaissance à partir de l'ouvrage.

Lorsque plusieurs paquets de mesures issus de l'analyse des scénarios ou d'une décision conditionnelle sont possibles pour réduire un impact intolérable de l'ouvrage sur les eaux souterraines, les décisions définitives relatives aux travaux à exécuter peuvent être prises à ce moment, en se basant sur les observations effectives.

Dans ces cas, le maître d'œuvre informe l'autorité qui délivre l'autorisation des dispositions prises.

Après la phase de chantier, il faut vérifier:

- si l'évaluation des conditions présentes était correcte;
- si les impacts attendus se sont effectivement produits;
- si les mesures de réduction des impacts ont été appliquées au niveau requis;
- si les mesures mentionnées se sont avérées efficaces.

On vérifiera par ailleurs si l'état initial a pu se rétablir dans les domaines où des impacts temporaires étaient prévus.

Etant donné que, selon la situation hydrogéologique, des impacts supplémentaires dus au projet peuvent se produire plusieurs années après la fin du chantier, il est impératif dans ces cas-là de maintenir le monitoring des sources et des eaux souterraines **après l'achèvement des ouvrages durant une période appropriée**.

4.2 Surveillance des travaux de chantier

Les prescriptions de l'autorité qui délivre l'autorisation sont transmises par le maître d'œuvre à l'entrepreneur dans le cadre de la soumission sous forme de conditions cadre à respecter.

Il appartient au maître d'œuvre d'assurer le respect de ces prescriptions du point de vue de la protection des eaux souterraines. Il formule son intention dans le cadre d'un « plan de contrôle et de surveillance hydrogéologique » qui est soumis à l'autorité avant le début des travaux. L'autorité contrôle son application de façon ponctuelle.

4.3 Contrôle de la réalisation des scénarios des mesures par les autorités, y compris intervention de l'autorité au niveau de l'exécution

Pour assurer que la mise en application des mesures se fasse dans le sens de la décision de l'autorité, le service de protection des eaux doit, durant la phase de chantier, être constamment informé de tout événement majeur pouvant porter atteinte aux eaux souterraines et superficielles (p. ex. fortes arrivées d'eau) ainsi que des mesures prises dans ces situations. Afin de permettre aux autorités de contrôler si les prescriptions en matière de protection des eaux sont respectées, un rapport portant sur les conditions hydrogéologiques rencontrées ainsi que sur les mesures prises pour les maîtriser doit leur être adressé après la fin des travaux de chantier. Par ailleurs, le respect des prescriptions doit être démontré dans le cadre de la remise de l'ouvrage.

ANNEXE I LA MÉTHODOLOGIE DE L'ANALYSE DES SCÉNARIOS

1. Bases

Pour les ouvrages souterrains qui, en raison de leur profondeur ou des conditions géologiques complexes, ne peuvent se prêter à un pronostic hydrogéologique sûr, les impacts possibles sur l'environnement doivent être estimés et les mesures permettant leur réduction proposées à l'aide de scénarios réalistes. L'analyse des scénarios doit donc permettre à l'autorité de protection de l'environnement de vérifier le respect des prescriptions en matière de protection des eaux souterraines durant la phase de planification déjà, même lorsque le pronostic est imprécis.

La comparaison du pronostic avec les conditions effectives et le déclenchement des mesures nécessaires doivent être contrôlés et documentés durant le chantier par le maître d'œuvre à l'aide de programmes de surveillance adaptés.

La méthodologie décrite ci-dessous est présentée comme un déroulement indépendant, c'est-à-dire sans référence à l'étape de la procédure à laquelle les différents pas doivent être appliqués. Elle peut donc être utilisée aussi bien pour des projets qui sont soumis à une étude d'impact que pour ceux qui ne le sont pas.

2. Méthodologie

En partant de l'état actuel dans le périmètre d'influence du tronçon de tunnel en question, les impacts négatifs possibles sur l'environnement doivent être mis en évidence et des paquets de mesures correspondants élaborés. En outre, un programme de monitoring doit être présenté, garantissant que les hypothèses émises pendant la phase de chantier et d'exploitation du tronçon de tunnel ont été vérifiées.

Phase	But	Moyen
Planification	mettre en évidence/ réduire les incertitudes au strict minimum	scénarios des impacts possibles scénarios des mesures possibles; conception du procédé de vérification et de monitoring pendant et après la phase de chan- tier (vérification, monitoring)
Chantier	obtenir des certitudes	vérifier les scénarios ; prendre les mesures correspon- tes
Exploitation/ utilisation	vérifier les certitudes	Monitoring ; éventuellement prendre des mesures complé- mentaires nécessaires

Tableau I-1: *Aperçu de la manière de procéder pour la prévention d'impacts sur l'environnement pendant la planification, le chantier et l'exploitation d'un tronçon de tunnel*

La manière de procéder des géologues et des ingénieurs du projet – et par conséquent la structure des présentes instructions – peut être subdivisée en quatre étapes pour chaque tronçon de tunnel (voir tableau I-2):

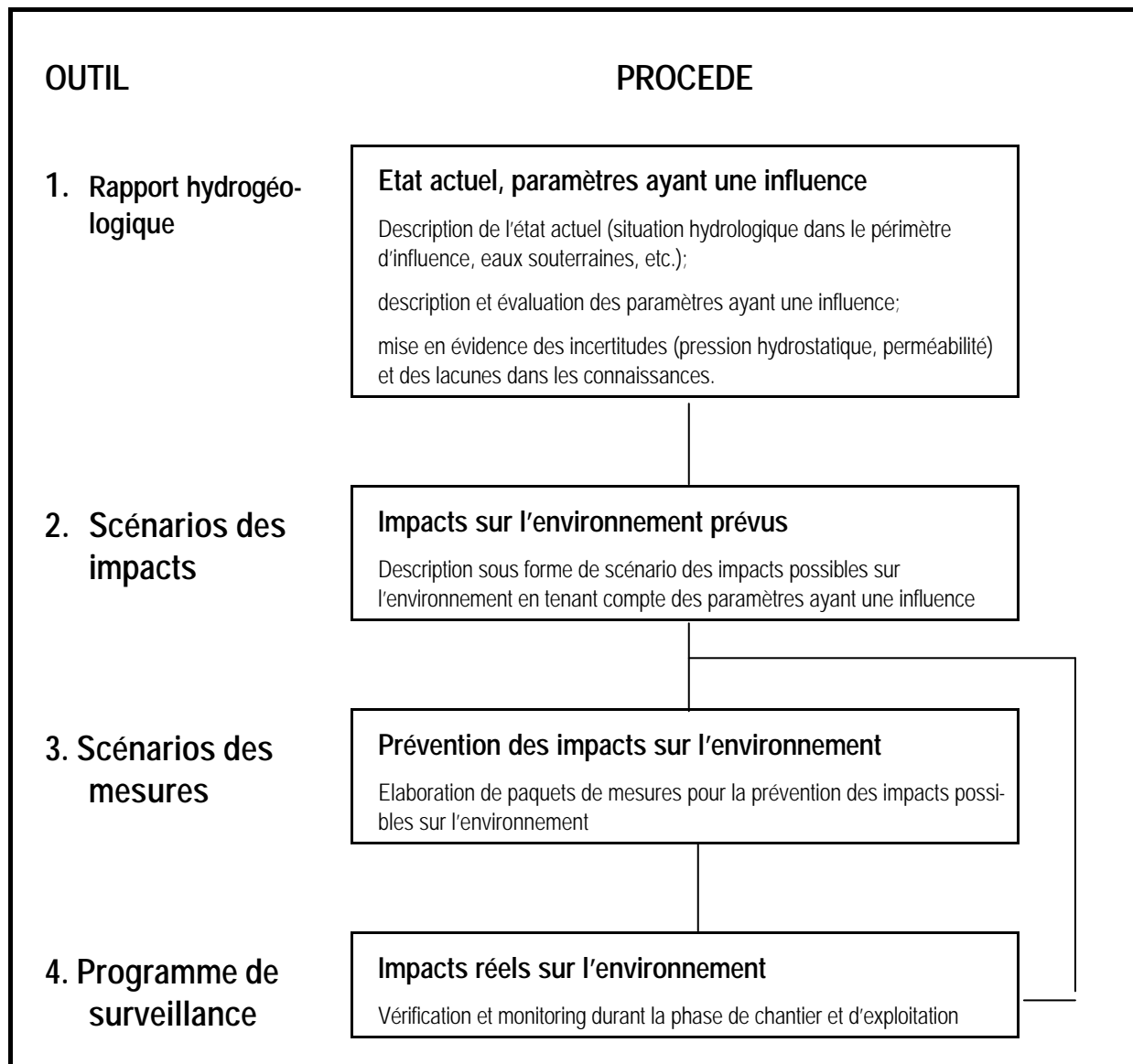


Tableau I-2: Déroulement schématique de l'analyse des scénarios

➔ **1^{re} étape: description de l'état actuel et des paramètres d'influence**

Le **rapport hydrogéologique** décrit l'état actuel du périmètre d'influence. Il expose la situation à la surface (p. ex. sources, zones humides) et dans le sous-sol (p. ex. conditions hydrogéologiques) et évalue les paramètres pouvant l'influencer (p. ex. débit d'eau et pression hydrostatique, perméabilité).

Là où subsistent des incertitudes, les diverses possibilités doivent être représentées en tenant compte des scénarios des impacts.

→ 2^e étape: description des impacts sur l'environnement prévus

Les impacts significatifs de la construction du tunnel sur l'environnement sont exposés. En tenant compte des paramètres ayant une influence incertaine, différents scénarios se présentent, couvrant tous les impacts possibles (exemple de scénario des impacts : « Si la perméabilité à l'eau de la roche est élevée, il faut s'attendre à un tarissement des sources x et y ainsi qu'à une atteinte à la zone humide z. Si par contre la perméabilité est faible, seule la source x est menacée »).

→ 3^e étape: mesures destinées à prévenir les impacts sur l'environnement

Pour chaque scénario des impacts, on élaborera un paquet de mesures permettant de prévenir les atteintes à l'environnement (scénarios des mesures).

→ 4^e étape: vérification et monitoring

La vérification permet de déterminer quels scénarios des impacts se produisent réellement. Elle ne peut avoir lieu que pendant la phase de chantier. Durant la phase de planification, on présentera un projet sur la manière dont cette vérification doit être effectuée (p. ex. par sondages préalables) et sur la façon dont est régi le déclenchement des mesures.

Dans le cadre de ce programme de surveillance, on planifiera également le contrôle de l'adéquation des mesures:

- Comment les impacts sont-ils observés?
- Les impacts sur l'environnement craints ont-ils vraiment pu être évités?
- D'autres impacts sont-ils éventuellement survenus à leur place?

ANNEXE II MESURES POSSIBLES DURANT LE PERCEMENT ET LE REVÊTEMENT DÉFINITIF

Pour la protection quantitative des eaux souterraines, les données significatives nécessaires à la description des arrivées d'eau possibles (arrivées d'eau sur l'ouvrage) sont la pression hydrostatique et la perméabilité du massif. Les mesures s'adaptent au type et à la valeur de la perméabilité rencontrée ainsi qu'à l'importance du volume des réserves et de la pression hydrostatique.

Les bases permettant d'élaborer les mesures sont décrites dans le chapitre 2 du « Grundwasserschutz bei Tunnelbauten », rapport OFEFP, Cahier de l'environnement n° 231, 1994. On fera la distinction entre les mesures à prendre durant le percement et celles qui doivent être prises lors du revêtement définitif. Des mesures envisageables sont énoncées dans les tableaux II-1 et II-2 ci-dessous.

Mesures à prendre durant le percement (conventionnel ou par machine)

		Perméabilité	
		Faible	forte
Pression hydrostatique	faible	<ul style="list-style-type: none"> pas de mesures spécifiques concernant les eaux souterraines 	<ul style="list-style-type: none"> abaissement temporaire du niveau de la nappe autorisé et rentable: <ul style="list-style-type: none"> -> maîtrise des eaux à l'aide de puits filtrants abaissement temporaire du niveau de la nappe non autorisé ou non rentable: <ul style="list-style-type: none"> -> isolement du périmètre de percement par injection, jetting, congélation, etc. -> tunnelier à bouclier pour les longs tunnels
	forte	<ul style="list-style-type: none"> pas de mesures spécifiques concernant les eaux souterraines (suintements) 	<ul style="list-style-type: none"> forage drainant en tête/galerie drainante injections d'étanchement en tête (étanchement de la roche) étanchement longitudinal du tunnel (injections) lors de solutions combinées

Tableau II-1: Mesures possibles en relation avec la protection des eaux souterraines durant le percement

Mesures à prendre au cours du revêtement définitif

		Perméabilité	
		Faible	Forte
Pression hydrostatique	faible	drainage ou tube étanche	<p>en règle générale tube étanche</p> <ul style="list-style-type: none"> • étanchement entre anneau extérieur et intérieur, revêtement éventuellement en béton étanche • voussoirs avec joints étanches lors de construction avec anneau fermé • toute la pression hydrostatique sur l'anneau intérieur <p>drainage rare, car en règle générale débit d'eau trop important</p>
	forte	en règle générale drainage pour éviter de fortes pressions hydrostatiques sur le tunnel	<p>en règle générale drainage</p> <ul style="list-style-type: none"> • drainage et étanchement entre anneau extérieur et intérieur • pas de pression hydrostatique sur l'anneau intérieur <p>tubes étanches</p> <ul style="list-style-type: none"> • étanchement entre anneau extérieur et intérieur • toute la pression hydrostatique sur l'anneau intérieur <p>solution combinée</p> <ul style="list-style-type: none"> • étanchement de la roche à l'avancement et drainage résiduel • pas de pression hydrostatique sur tubes du tunnel

Tableau II-2: Mesures possibles en relation avec la protection des eaux souterraines pendant le revêtement définitif

ANNEXE III EXEMPLES CONCRETS

Les situations décrites ci-dessous sont abstraites. L'adjonction de cas concrets permet de montrer un lien avec des ouvrages souterrains déjà réalisés.

Situation 1

<i>Tronçon du tunnel</i>	Partie du tunnel en roche meuble dans une région dont l'eau souterraine est exploitée, présentant un grand périmètre d'influence, une forte perméabilité et une faible pression hydrostatique.
<i>Scénario des impacts</i>	A long terme, les prélèvements opérés dans la nappe d'eau souterraine sont supérieurs aux apports; C_f (captages), C_g (mouvements de terrain) et C_h (écoulement).
<i>Mesures</i>	<p>Percement protégé par</p> <ul style="list-style-type: none"> • injections, jetting ou congélation; • tunnelier à bouclier; • abaissement temporaire du niveau de la nappe, si autorisé et rentable. <p>Revêtement définitif</p> <ul style="list-style-type: none"> • tubes du tunnel étanches; • by-pass sous l'ouvrage afin de diminuer l'effet de barrière au travers de l'écoulement souterrain.
<i>Justification</i>	Pour des raisons économiques (réduire au minimum les heures de pompage pour le drainage du tunnel), le revêtement définitif du tunnel doit être étanche. Dans le cas contraire, les prélèvements opérés dans la nappe seraient à long terme supérieurs aux apports.

Exemples concrets:

- Tunnel CFF du Hagenholz: percement avec bouclier et abaissement temporaire du niveau de la nappe par puits filtrant, tube étanche à deux anneaux avec feuille d'étanchéité.
- Tunnel CFF du Grauholz, tronçon dans la roche meuble: tunnelier mixte à bouclier, tube étanche à anneau fermé simple.

Situation 2

<i>Tronçon du tunnel</i>	Tronçon de tunnel dans formations rocheuses jurassiques karstiques techniquement favorables à la construction de tunnels, telles que le Portlandien ou le Kimmeridgien, c'est-à-dire forte perméabilité locale; au-dessous de sources utilisées.
<i>Scénario des impacts</i>	En cas d'atteinte à un gisement d'eau karstique, les prélèvements opérés dans la nappe d'eau souterraine sont à long terme supérieurs aux apports; C _a (sources), C _f (captages) et C _g (mouvements de terrain).
<i>Mesures</i>	<p>Percement</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sondages de reconnaissance ou galeries de sondage à l'avancement dans des séries karstiques, injections locales dans la roche, éventuellement déviation de conduits karstiques. <p>Revêtement définitif</p> <ul style="list-style-type: none"> • Selon les arrivées d'eau, tubes drainants ou tubes étanches.
<i>Justification</i>	Reconnaissance et réalisation de travaux d'assainissement du massif, protection des eaux souterraines.

Exemples concrets:

- Tunnel N3 du Bözberg: percement au tunnelier entre autres pour la protection des thermes de Schinznach, tube étanche sur 500 m: étanchéité souple entre anneau extérieur et intérieur, injection assurant l'étanchement longitudinal du tunnel.
- Tunnel N3 du Habsburg: percement à l'explosif avec limitation des quantités d'explosif dans la partie rocheuse, tube étanche sur 180 m pour la protection des thermes de Schinznach, annelures assurant l'étanchement longitudinal.

Situation 3

<i>Tronçon du tunnel</i>	Roche peu perméable (marne) avec recouvrement de faible à moyenne importance (pression hydrostatique faible à moyenne).
<i>Scénario des impacts</i>	A-B (atteinte aux eaux souterraines impossible ou peu probable).
<i>mesures</i>	Percement <ul style="list-style-type: none"> • Aucune Revêtement définitif <ul style="list-style-type: none"> • tube drainant
<i>Justification</i>	Pas d'atteinte par l'ouvrage souterrain aux conditions hydrogéologiques.

Exemple concret:

- Tunnel N2 du Seelisberg, tronçon dans les marnes du Valangien: mesures de drainage avec déviation des eaux interstitielles des roches.

Situation 4

<i>Tronçon du tunnel</i>	Tronçon de tunnel dans les Alpes, recouvrement important (>500 m), dans le cristallin massif; en règle générale faible perméabilité et forte pression hydrostatique.
<i>Scénario des impacts</i>	A-B (atteinte aux eaux souterraines impossible ou peu probable).
<i>Mesures</i>	Percement <ul style="list-style-type: none"> • Aucune Revêtement définitif <ul style="list-style-type: none"> • tube drainant
<i>Justification</i>	Pas d'atteinte par l'ouvrage souterrain aux conditions hydrogéologiques.

Exemples concrets:

- Tunnel routier N2 du Gothard; tronçon dans le granite central de l'Aar: galerie de sécurité creusée à l'avancement fonctionnant comme galerie drainante, revêtement définitif en béton étanche, drainage à l'aide de joints annulaires ouverts Ø 40 cm tous les 8 m, visiblement pas d'impact négatif sur les sources ou la nappe d'eau souterraine.
- Tunnel CFF du Gothard (Scheiteltunnel); tronçon dans le granite central de l'Aar: drainage.

Situation 5

<i>Tronçon du tunnel</i>	Zones de fractures recoupées par des ouvrages souterrains alpins avec recouvrement important, c'est-à-dire forte perméabilité et pression hydrostatique élevée; des sources captées se situent dans le périmètre de l'ouvrage; l'eau peut être fortement sulfatée.
<i>Scénario des impacts</i>	Quantité et qualité des eaux souterraines altérées par la mise en contact de deux ou plusieurs systèmes aquifères; C_a (sources), C_e (cours d'eau récepteur) et C_r (captages).
<i>Mesures</i>	<p>Percement</p> <ul style="list-style-type: none"> galerie de reconnaissance, sondage, injection <p>Revêtement définitif</p> <ul style="list-style-type: none"> tube drainant (drainage des eaux résiduelles afin d'éviter de fortes pressions hydrostatiques)
<i>Justification</i>	Reconnaissance et réalisation de travaux d'assainissement du massif, protection des eaux souterraines.

Exemples concrets:

- AlpTransit, tunnel de base du Lötschberg; traversée du biseau de la Jungfrau; mesures pour la retenue des eaux interstitielles prévues.
- AlpTransit, tunnel de base du Gothard; traversée de la cuvette de Piora: système de sondage avec galerie et sondages de reconnaissance en construction; mesures d'assainissement du massif possibles en cas de besoin.