



MINISTÈRE
CHARGÉ
DES TRANSPORTS

*Liberté
Égalité
Fraternité*



OUVRAGES SOUTERRAINS & TRANSITION ÉCOLOGIQUE

Ce document synthétique s'adresse à tous les intervenants dans la conception, la réalisation, l'exploitation et la maintenance d'un ouvrage souterrain.

En effet, la transition écologique vers un développement durable est un enjeu sociétal majeur, qui doit désormais être intégré dans tous les projets neufs d'aménagements et d'infrastructures.

Il est également important d'en tenir compte dans les projets de rénovation ou de réhabilitation.

Les ambitions de ce document sont de :

- fournir quelques données de référence sur les émissions de CO₂ liés aux ouvrages souterrains ;
- identifier les enjeux écologiques liés à ces ouvrages et pointer les principaux leviers d'action pour réduire leurs impacts ;
- donner quelques éléments de méthode pour écoconcevoir les ouvrages souterrains ;
- souligner comment les ouvrages souterrains permettent d'aller vers des usages plus durables au service des mobilités, des villes et des territoires.

Transition écologique et ouvrages souterrains : de quoi parle-t-on exactement ?

Le Commissariat Général au Développement Durable définit la transition écologique comme **un concept visant à mettre en place un nouveau modèle économique et social de manière à répondre aux enjeux écologiques de notre siècle**. La notion de transition met l'accent sur l'accélération des changements vers un développement durable à travers des initiatives concrètes et des démarches citoyennes locales.

Par **ouvrages souterrains**, on entend :

- les **tunnels** routiers, ferroviaires et de transports guidés ;
- les **ouvrages techniques** : réseaux d'assainissement et d'eau pluviale, infrastructures de recherche et de logistique ;
- les **espaces souterrains urbains** abritant des fonctions diverses comme les gares, centres commerciaux, salles de spectacles, gymnases, piscines...

OUVRAGES SOUTERRAINS & DÉVELOPPEMENT DURABLE

Les ouvrages souterrains peuvent contribuer à 10 des 17 objectifs de développement durable (ODD) identifiés par les Nations Unies pour répondre aux défis mondiaux à l'horizon 2030.



Assurer le confort et la sécurité des usagers et des riverains. Préserver la qualité de l'air et l'environnement sonore.



Préserver les ressources en eau. Distribuer et assainir l'eau destinée aux populations.



Récupérer et produire de l'énergie (géothermie, hydroélectricité).



Développer l'emploi local pendant la construction et l'exploitation.



Soutenir l'industrie et favoriser l'innovation en construisant et en exploitant durablement.



Connecter les territoires, les quartiers... Préserver la surface pour des usages apaisés.



Développer l'économie circulaire. Gérer et valoriser les déchets et les matériaux excavés.



Limiter les émissions de GES et rendre les villes plus résilientes face aux épisodes météorologiques extrêmes.



Assurer la continuité de la trame verte. Limiter l'artificialisation des sols.



Développer une stratégie nationale pour les ouvrages souterrains. Fédérer les parties prenantes.

Les ODD couvrent l'intégralité des enjeux du développement durable tels que le climat, la biodiversité, l'énergie, l'eau, mais aussi la prospérité économique, la paix, l'éducation... Ils forment le cœur de « l'agenda 2030 » adopté par l'ONU en 2015.

Pour en savoir plus : sdgs.un.org/fr/goals

TUNNELS ROUTIERS & ÉMISSIONS DE CO₂

EN QUELQUES CHIFFRES

POUR LE GÉNIE CIVIL

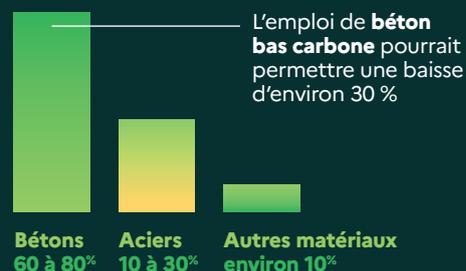
construction en méthode conventionnelle

55 à 80%

des émissions de la construction en tonnes de CO₂ équivalent (tCO₂e) sont dues aux matériaux.

90%

des émissions de CO₂e des matériaux de construction proviennent des bétons et des aciers.



POUR LES ÉQUIPEMENTS

construction et exploitation*

 **de 1 à 6 tCO₂e**

par mètre linéaire sur 100 ans sont émises par les **systèmes d'éclairage**. L'emploi des LED réduira ces émissions d'au moins 20%.

 **de 0,5 à 5 tCO₂e**

par mètre linéaire sur 100 ans sont émises par les **systèmes de ventilation**.

À titre de comparaison :

1 tCO₂e équivaut à un trajet Paris-New York en avion.

10 tCO₂e représentent les émissions moyennes annuelles d'un Français.

*valeurs estimées sur la base de scénarios d'exploitation actuels

À savoir...

- Pour la construction, les impacts d'un tunnel dépendent essentiellement de ses dimensions et de la géologie traversée.
- Pour l'exploitation, les impacts sont essentiellement liés à la consommation électrique des équipements, et dans une moindre mesure à leur renouvellement et recyclage.
- Environ 65 % des tunnels routiers français sont éclairés. Ils représentent 95 % de la longueur cumulée de tubes.
- Environ 15 % des tunnels routiers français sont ventilés. Ils représentent 70 % de la longueur cumulée de tubes.
- Tout au long du cycle de vie de l'ouvrage, l'approvisionnement en matériaux et produits, ainsi que l'évacuation des déchets, peuvent avoir un impact important selon les distances et les modes de transport.

Pour illustrer...

Considérons un tunnel routier urbain bidirectionnel, d'une longueur de 2 000 mètres, construit en méthode conventionnelle, ventilé, éclairé et constitué de deux voies dans chaque sens.

Évaluons les émissions de CO₂ équivalent sur une période de 100 ans pour un trafic de 40 000 véhicules/jour avec un taux moyen d'émission de 126 g CO₂/km/véhicule.

CONSTRUCTION

55 000
tonnes de CO₂e

proviennent des matériaux de construction.

À titre de comparaison, cela équivaut aux émissions annuelles de 5 500 français.

ÉQUIPEMENTS

15 000
tonnes de CO₂e

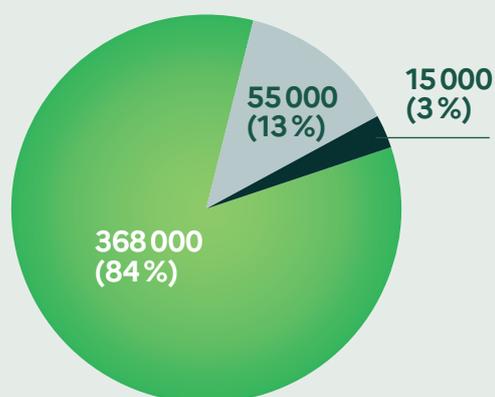
proviennent des installations d'éclairage et de ventilation (fabrication, maintenance et recyclage des équipements renouvelés).

TRAFIC

368 000
tonnes de CO₂e

proviennent des véhicules (trafic et taux d'émission supposés constants).

Répartition des émissions en tonnes de CO₂e sur 100 ans



■ Trafic ■ Construction ■ Équipements

n.b. Dans cet exemple, seules les installations d'éclairage et de ventilation ont été prises en compte.

Remarque

Si ce tunnel permet d'éviter d'emprunter un itinéraire alternatif 6 fois plus long, les émissions dues au tunnel seront compensées en 3 ans seulement !

VERS DES OUVRAGES SOUTERRAINS PLUS VERTUEUX

Principaux enjeux écologiques & leviers d'action

La plupart des leviers d'action ci-dessous contribuent à lutter contre le changement climatique. Ils permettent non seulement de concevoir, construire et exploiter des ouvrages plus durables en réduisant les émissions de CO₂, mais aussi de contribuer à la résilience des villes et territoires.

Favoriser la sobriété énergétique



- Favoriser des chantiers de construction moins consommateurs d'énergie, en renouvelant et en entretenant le parc des engins et véhicules.
- Limiter les déplacements pour l'approvisionnement en matériaux et produits, ainsi que pour l'évacuation des déchets.
- Choisir des équipements moins énergivores.
- Repenser l'organisation de l'exploitation pour optimiser les interventions sur site.
- Profiter de la stabilité thermique du sous-sol pour réduire les besoins en climatisation ou en chauffage.
- Récupérer et produire de l'énergie en phase exploitation (géothermie, capteurs solaires à proximité de l'ouvrage...).

Éclairage LED dans la tranchée couverte de Marange (© CETU)

Préserver l'environnement et le cadre de vie

- Intégrer le sous-sol dans la planification urbaine pour réduire l'artificialisation des sols et les îlots de chaleur, favoriser un usage plus apaisé en surface et diminuer la tension foncière.
- Optimiser la ventilation pour améliorer la qualité de l'air en tunnel et aux têtes.
- Utiliser le souterrain pour protéger les populations contre les épisodes météorologiques extrêmes (ex : stockage des eaux pour éviter les inondations).
- Garantir une gestion de l'eau raisonnée et respectueuse des milieux naturels en construction et en exploitation.



Quartier du Vieux-Port à Marseille (© V. Michiel)

Faciliter la transition des mobilités



- Identifier les risques et enjeux liés au développement des modes doux, des nouveaux modes de propulsion et des véhicules automatisés.
- Faire évoluer la réglementation et la doctrine technique pour assurer la sécurité des usagers.
- Intégrer les nouvelles mobilités dans les tunnels existants avec des aménagements et mesures d'exploitation adaptés.

Tunnel de la Croix-Rousse (Lyon) : tube modes doux et transports en commun (© CETU)

Développer l'économie circulaire

- Préserver les ressources et limiter les déchets :
- optimiser le dimensionnement des structures en adoptant un usage raisonné des matériaux et équipements, basé sur des choix éclairés ;
 - choisir des produits intégrant des matériaux issus de filières de recyclage en développant le réemploi et la valorisation des matériels et des matériaux (en particulier pour les matériaux excavés) ;
 - privilégier les équipements maintenables et recyclables ;
 - assurer une maintenance des équipements et un entretien des structures pour allonger leur durée de vie.

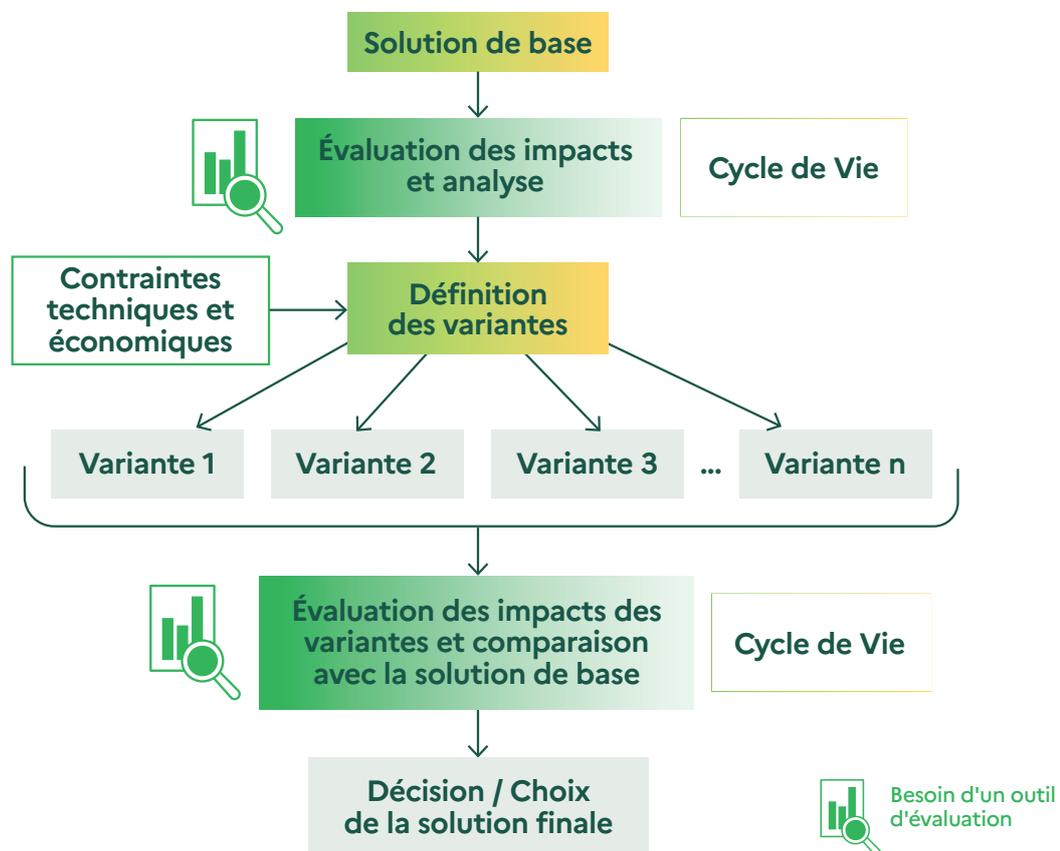


Trommel utilisé pour trier les matériaux excavés (© CETU)

L'ÉCO-CONCEPTION :

une démarche systémique
pour réduire les impacts environnementaux
tout au long du cycle de vie

LA DÉMARCHE D'ÉCO-CONCEPTION



Une mise en œuvre en deux temps pour aider à la décision

1 L'éco-conception permet tout d'abord de comparer la solution en souterrain avec d'autres solutions à l'air libre et de réfléchir à la mutualisation des besoins (réflexion sur la multifonctionnalité).

2 Lorsque la solution en souterrain est validée, elle permet d'optimiser la conception et l'exploitation de l'ouvrage en comparant des variantes de tracés, des méthodes constructives et des choix de matériaux et produits.



L'Analyse du Cycle de Vie : un outil d'évaluation performant

KÉSAKO ?

S'appuyant sur un cadre normatif éprouvé, l'ACV est une méthode multicritère applicable aux ouvrages de génie civil. Elle permet d'évaluer leurs impacts potentiels sur l'environnement tout au long du cycle de vie.

L'ACV en 4 étapes

Définition des hypothèses et des frontières du système ; choix de l'unité fonctionnelle

Quantification des flux de matières et d'énergie entrants et sortants du système étudié

Traduction des flux en indicateurs d'impacts environnementaux pour différentes catégories d'impact



Le cadre normatif

NF EN ISO 14040
NF EN ISO 14044
...

Plusieurs indicateurs d'impacts

Le réchauffement climatique, l'épuisement des ressources, l'utilisation d'énergie, l'éco-toxicité...

UN ÉCLAIRAGE POUR LA DÉCISION

Sur la base de plusieurs indicateurs d'impacts sur l'environnement, l'ACV permet de comparer objectivement différentes solutions. Elle enrichit les analyses techniques et économiques en apportant aux décideurs un éclairage environnemental.

Exemple de comparaison des impacts des matériaux pour trois solutions constructives

Solution de base :
Méthode conventionnelle avec radier droit



Variante n°1 :
Avec un radier contre-voûté

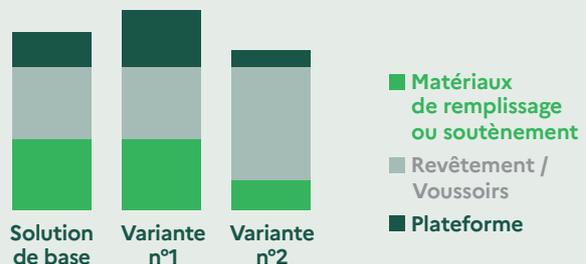


Variante n°2 :
Creusement au tunnelier



Résultat pour un mètre linéaire de section courante du tunnel

Exemple : indicateur "changement climatique"

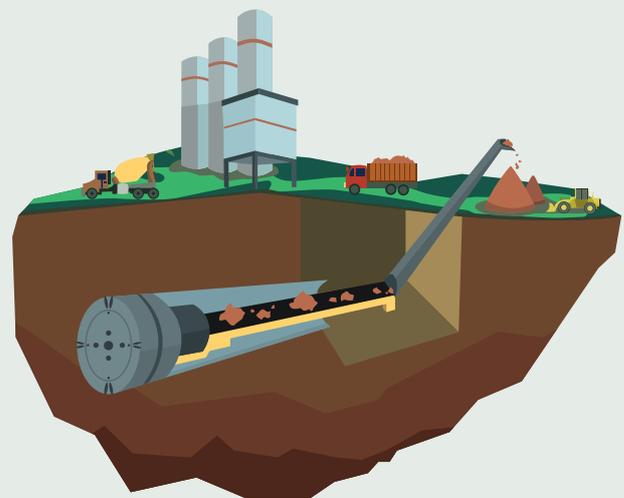


À savoir...

- Des outils monocritères, comme le bilan des émissions de GES ou l'empreinte carbone, sont parfois utilisés.
- Des travaux sont en cours pour adapter aux ouvrages souterrains des outils intégrant également les dimensions sociales et économiques.

LES OUVRAGES SOUTERRAINS AU SERVICE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE

Des opportunités pour des villes et territoires plus durables



Prendre en compte le sous-sol dans la planification des villes et des territoires pour fluidifier les circulations, préserver le foncier, pacifier les usages en surface et accroître la résilience.

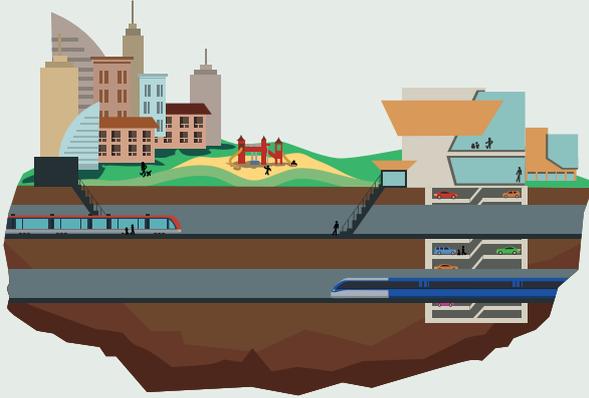
Développer l'approche multifonctionnelle et anticiper les évolutions des usages pour optimiser la conception et maîtriser les impacts.

Développer les synergies entre les espaces souterrains et la surface pour valoriser les ressources du sous-sol : matériaux excavés, énergie géothermique...

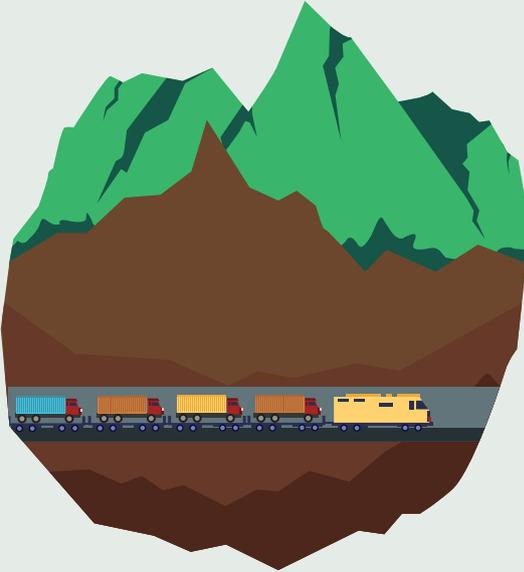
**Les espaces souterrains peuvent accueillir
des fonctionnalités variées.**

De nombreux exemples existent déjà : datacenters, entrepôts logistiques, locaux techniques, centres commerciaux, musées, salles de concert, champignonnières...

Des atouts pour les mobilités de demain



Favoriser le report modal vers des modes plus décarbonés en facilitant l'interconnexion des réseaux de transport (hubs de mobilité).



Contribuer à la diminution des impacts des déplacements en permettant de franchir des obstacles naturels et en réduisant la longueur et la déclivité des itinéraires.



Accompagner la transition dans les mobilités en adaptant les ouvrages et les modalités d'exploitation.



Centre d'Études des Tunnels

cetudeveloppement-durable.gouv.fr
25 avenue François Mitterrand
69500 Bron - France
Tél. +33 (0)4 72 14 34 00
cetu@developpement-durable.gouv.fr

Pour en savoir plus sur
la transition écologique
appliquée aux
ouvrages souterrains :

