Les références

VALORISATION DE MATÉRIAUX ALTERNATIFS DANS LES AMÉNAGEMENTS

ÉTUDE ENVIRONNEMENTALE ET SANITAIRE

ÉDITION 2025



RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

Cerema éditions

VALORISATION DE MATÉRIAUX ALTERNATIFS DANS LES AMÉNAGEMENTS

ÉTUDE ENVIRONNEMENTALE ET SANITAIRE

ÉDITION 2025

Collection « Les références »

Cette collection regroupe l'ensemble des documents de référence portant sur l'état de l'art dans les domaines d'expertise du Cerema (recommandations méthodologiques, règles techniques, savoir-faire, etc.), dans une version stabilisée et validée. Destinée à un public de généralistes et de spécialistes, sa rédaction pédagogique et concrète facilite l'appropriation et l'application des recommandations par le professionnel en situation opérationnelle.

Le présent ouvrage est une œuvre collective conduite par le Cerema et l'Ineris, sous maîtrise d'ouvrage de la DGPR, avec les contributions de :
• Patrick VAILLANT (Cerema)
• Corinne HULOT (Ineris)
• Xavier BARANGER (DGPR)
• Fanny PELLISSIER (DGPR)

Sont remerciés pour leurs relectures et contributions :
• Samuel COUSSY et Noémie DUBRAC (BRGM)
• Julie WOLANIN (Ineris)
• Loïc DANEST, Samyr EL BEDOUI et Thomas MUCKENSTURM (Afoco)
• Isabelle CHAMPETIER et Annie PERRIER-ROSSET (AFPC)
• Léa DELEPIERRE (Amorce)
• Patrick SZYMKOWIAK et Bertrand SZYMKOWIAK (ANGM)
• Simon FAYS (Cetim)
• Jérémie DOMAS et Shahinaz SAYAGH (CTPL)
• Emmanuel BRANCHE et Hervé ROMANO (EDF)
• Yannick LEROY et Léonard NEUVILLE (Federec)
• Céline BLANC et Marie TOBIAS (FNTP)
• Sophie DECREUSE, Sébald TURPIN et Julien WALIGORA (Routes de France)
• Nathanaël CORNET-PHILIPPE et Anaïs TERBECHE (SEDRRe)
• Martin GABORIAU et Aurélie MARTIN (SNCF Réseau)
• Pascal LANET et Gabriel VOLCOVSCHI (SVDU)
• Béatrice BAUD, Réda SEMLALI et Albert ZAMUNER (UNEV)
• Raphaël BODET, Frédéric THOUÉ et Olivier WATERBLEZ (UNPG)
• Christel de la HOUGUE et Jean-Yves RICHARD (UPDS)

Comment citer cet ouvrage :
Cerema. *Valorisation de matériaux alternatifs dans les aménagements. Étude environnementale et sanitaire.* Lyon : Cerema, 2025. Collection : Les références.
ISBN : 978-2-37180-730-3 (pdf)

AVANT-PROPOS

Représentant environ les deux tiers de la production totale de déchets en France, le secteur du bâtiment et des travaux publics ainsi que celui de l'industrie génèrent chaque année environ 200 millions de tonnes de déchets minéraux non dangereux.

En inscrivant son action dans une logique d'économie circulaire, la valorisation de ces déchets constitue un levier incontournable pour réduire les incidences globales liées à l'utilisation des ressources naturelles et à l'émission de gaz à effet de serre. À ce titre, les opérations d'aménagement constituent une filière de valorisation adaptée pour la plupart des déchets minéraux, devenus « matériaux alternatifs », qu'ils soient d'origine naturelle ou artificielle.

Le recours à des matériaux alternatifs est un choix qui ne peut cependant reposer sur la seule vérification de leurs caractéristiques physiques, mécaniques et/ou géotechniques propres aux besoins techniques de la construction. Afin de permettre l'évaluation des caractéristiques environnementales et sanitaires de ces matériaux, et de prévenir en particulier tout risque de contamination de la ressource en eau, le Cerema a développé avec l'appui de l'Ineris une méthodologie, validée par le ministère chargé de l'environnement.

Le présent ouvrage vise ainsi à fournir une démarche pour l'étude de l'acceptabilité environnementale et sanitaire de matériaux alternatifs élaborés à partir de déchets et destinés à être utilisés dans les aménagements. Il s'applique aux matériaux alternatifs dont la fonction utile a été préalablement justifiée.

La méthodologie proposée est en cohérence avec celle du guide méthodologique *Valorisation de matériaux alternatifs en infrastructures linéaires de transport terrestre – Étude environnementale et sanitaire*.

Cet ouvrage s'adresse principalement aux professionnels des travaux publics et aux industriels qui souhaitent étudier les possibilités de valorisation des déchets qu'ils détiennent ou qu'ils produisent.

Pour les gisements de matériaux alternatifs dont le retour d'expérience est probant, ce guide méthodologique est décliné en guides d'application, conçus pour être directement opérationnels dans le cadre de la conception des projets d'aménagement, la passation des contrats et la réalisation des travaux.

Ainsi, pour les matériaux alternatifs disposant d'un guide d'application, il n'est pas utile de se référer au présent guide méthodologique : il convient de suivre directement les prescriptions du guide d'application correspondant.

Ce guide méthodologique ainsi que les guides d'application associés s'inscrivent résolument dans un objectif d'économie circulaire en promouvant l'utilisation de matériaux alternatifs dans les aménagements, dans des conditions environnementales et sanitaires maîtrisées.



Pour le Directeur général du Cerema,
le Directeur général adjoint,
Directeur des Infrastructures
de transport et matériaux,

David ZAMBON

Sommaire

Avant-propos 3

Avertissement 6

CHAPITRE 1

Objet, définitions et champ d'application 9

1.1 - Objet 10

1.2 - Définitions 10

1.3 - Champ d'application 11

CHAPITRE 2

Étude de l'acceptabilité environnementale et sanitaire 21

2.1 - Étude de l'acceptabilité environnementale 22

2.2 - Étude de l'acceptabilité sanitaire 29

CHAPITRE 3

Objet et contenu des guides d'application 31

3.1 - Objet 32

3.2 - Contenu 32

Annexes 35

1. Normes d'analyses 36

2. Principes de la modélisation environnementale 38

3. Principes de l'élaboration des concentrations limites sanitaires 40

4. Bibliographie 48

5. Sigles 50

AVERTISSEMENT

Différents guides proposent des méthodologies permettant de valider l'acceptabilité environnementale et sanitaire d'opérations de valorisation de matériaux alternatifs. Ces guides présentent des méthodologies adaptées aux gisements et usages visés. Afin d'expliciter quel guide appliquer selon le gisement et les usages concernés, la DGPR a mis en place un document aiguilleur[1], accessible sur le site du ministère chargé de l'environnement.

L'objet du présent guide méthodologique est de proposer une démarche pour l'étude de l'acceptabilité environnementale et sanitaire de matériaux alternatifs élaborés à partir de déchets, à l'exception de ceux élaborés à partir de terres ou de sédiments, et destinés à être utilisés dans le cadre de toute opération d'aménagement au sens de l'article L.300-1 du Code de l'urbanisme ou de toute opération de construction faisant l'objet d'une procédure ou d'une autorisation d'urbanisme, et ce, quels que soient la procédure réglementaire, l'opération foncière et le mode de financement.

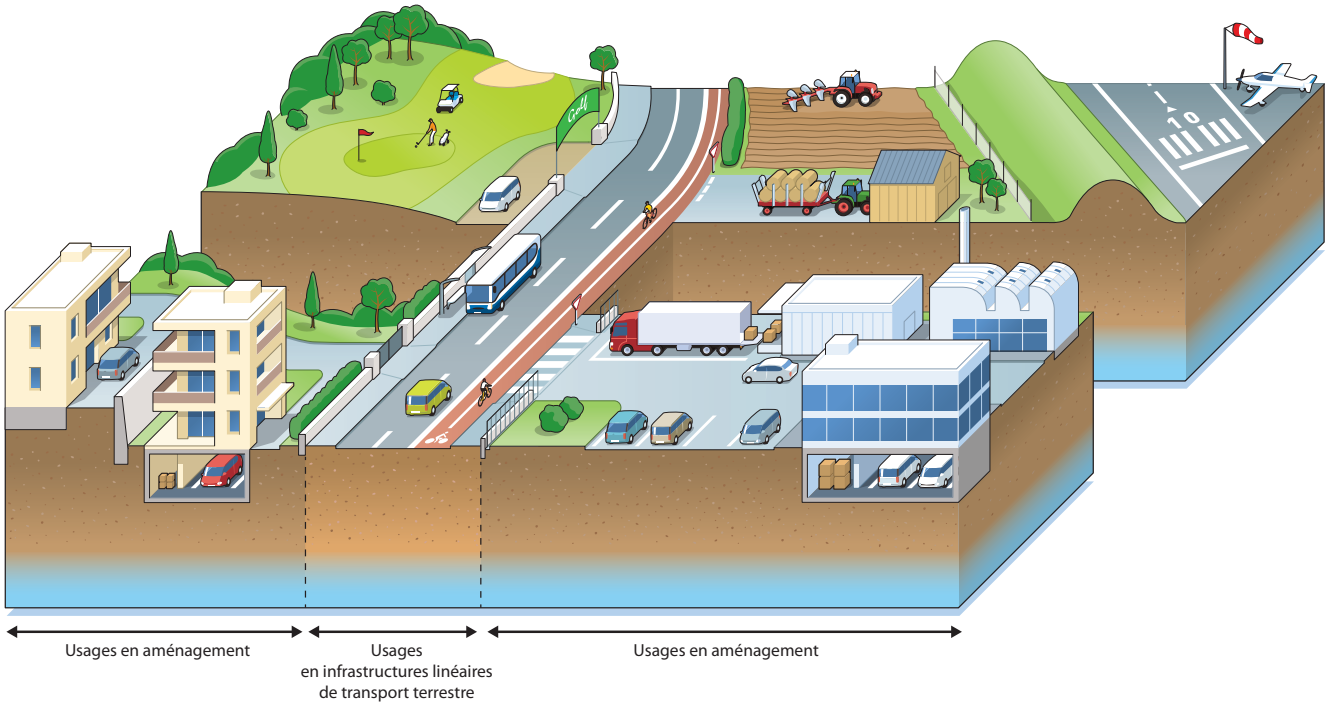
Les travaux d'aménagement concourant à l'activité d'un site ou à sa remise en état dans le cadre de la cessation d'activité ou des opérations de démantèlement, réalisés sur les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) ou sur les installations nucléaires de base (INB) entrent également dans le champ d'application du présent guide, sans préjudice des dispositions règlementaires applicables à ces installations.

En revanche, le remblayage de carrières classées au titre de la rubrique 2510 de la nomenclature des ICPE n'est pas concerné par le présent guide. Il relève de l'arrêté du 22 septembre 1994 modifié relatif aux exploitations de carrières.

D'autre part, les usages de matériaux alternatifs à des fins de construction, de réhabilitation ou d'entretien d'infrastructures linéaires de transport terrestre, y compris les ouvrages connexes situés au sein de leurs emprises (merlon de protection phonique ou paysager, par exemple) relèvent du *Guide de valorisation de matériaux alternatifs en infrastructures linéaires de transport terrestre* [2] et de ses guides d'application associés.

Usages en infrastructures linéaires de transport terrestre vs usages en aménagement

(infographie : Lorenzo Timon)



1. https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/guides-valorisation-aiguilleur

L'étude de l'acceptabilité environnementale proposée par ce guide a pour objectif de prévenir les risques de contamination de la ressource en eau et de limiter les teneurs en polluants organiques dans les matériaux étudiés.

- Pour les paramètres inorganiques, l'étude de l'acceptabilité environnementale s'appuie sur la norme NF EN 12920+A1 [3] qui définit la méthodologie de détermination du relargage des constituants d'un matériau vers l'eau, dans des conditions spécifiées d'utilisation ou de stockage. Elle repose sur les résultats de modélisations numériques hydrodynamiques menées dans la continuité des travaux européens du Groupe de travail Modélisation mis en place par le Comité d'adaptation technique (GM-TAC) concernant la définition des critères d'admission en installation de stockage de déchets inertes.
- Pour les composés organiques, des valeurs limites en contenu total ont été fixées, en cohérence également avec la réglementation relative aux installations de stockage de déchets inertes, en laissant la possibilité de les adapter en fonction de la nature des déchets à l'origine des matériaux alternatifs.

Concernant l'impact sanitaire, la démarche visant à maîtriser les risques associés à une exposition de la population générale et des professionnels a été choisie en cohérence avec celle mise en œuvre dans le cadre du *Guide de valorisation hors site des terres excavées issues de sites et sols pollués dans des projets d'aménagement* [4]. Le présent guide fixe les lignes directrices et la méthodologie générale qui ont vocation à être déclinées en tenant compte des caractéristiques physico-chimiques des matériaux et des scénarios d'exposition, lors de l'élaboration du guide d'application correspondant ou, lorsqu'aucun guide d'application n'existe ni n'est prévu pour le gisement concerné, au sein de l'étude de l'acceptabilité environnementale et sanitaire diligentée par le producteur du déchet étudié ou l'un de ses détenteurs.

Enfin, compte tenu de la nature des ouvrages, de leur pérennité et de l'artificialisation des sols qui résulte de leur mise en place, le présent guide ne prend pas en considération l'impact sur les sols dans sa méthodologie.

Ce guide méthodologique peut être décliné pour les principaux gisements de matériaux alternatifs sous forme de guides d'application. Lorsqu'un guide d'application existe, ses dispositions priment sur celles du présent guide méthodologique.

Les guides d'application constituent un référentiel pour toute valorisation sous statut de déchet ainsi que dans le cadre de toute procédure de sortie du statut de déchet explicite lorsqu'elle est prévue par un arrêté ministériel pris en application de l'article L.541-4-3 du Code de l'environnement. Dans le cas d'une sortie du statut de déchet explicite, l'arrêté du 19 juin 2015 modifié – relatif au système de gestion de la qualité mentionné à l'article D.541-12-14 du Code de l'environnement – constitue la référence en matière de gestion de la qualité.

CHAPITRE 1

Objet, définitions et champ d'application

1. OBJET, DÉFINITIONS ET CHAMP D'APPLICATION

1.1 - OBJET

L'objet du présent guide méthodologique est de fournir une démarche pour l'étude de l'acceptabilité environnementale et sanitaire de matériaux alternatifs élaborés à partir de déchets et destinés à être utilisés dans les aménagements pour les usages définis au chapitre 1.3.4, à l'exception de ceux élaborés à partir de terres ou de sédiments pour lesquels les conditions de valorisation sont encadrées par des guides spécifiques ([4], [5]).

Il s'adresse principalement aux professionnels des travaux publics et aux industriels et a vocation à être utilisé sur l'ensemble du territoire national :

- par toute fédération professionnelle lorsqu'elle souhaite étudier les possibilités de valorisation dans les aménagements d'un gisement de déchets donné. Les conclusions de cette étude peuvent alors donner lieu à l'élaboration d'un guide d'application plus directement opérationnel (cf. chapitre 3) auquel peuvent se référer les maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre et entreprises de travaux publics dans le cadre de leurs projets ;
- par tout producteur ou détenteur de déchets lorsqu'il souhaite étudier les possibilités de valorisation dans les aménagements desdits déchets, notamment lorsqu'aucun guide d'application ne permet de couvrir le gisement concerné.

1.2 - DÉFINITIONS

Dans le présent ouvrage, la terminologie suivante est utilisée :

1.2.1 - USAGE EN AMÉNAGEMENT

Usage pour lequel des matériaux sont utilisés dans le cadre d'opérations d'aménagement au sens de l'article L.300-1 du Code de l'urbanisme, ou d'opérations de construction faisant l'objet d'une procédure ou d'une autorisation d'urbanisme, et ce, quels que soient la procédure réglementaire (zone d'aménagement concertée (ZAC), déclaration préalable, permis de construire, permis d'aménager, etc.), l'opération foncière (achat, vente, restructuration de parcelles) et le mode de financement (financement dans le cadre de la ZAC, projet urbain partenarial, etc.).

Les travaux d'aménagement concourant à l'activité d'un site ou à sa remise en état dans le cadre de la cessation d'activité ou des opérations de démantèlement, réalisés sur les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) ou sur les installations nucléaires de base (INB) entrent également dans le champ d'application du présent guide, sans préjudice des dispositions règlementaires applicables à ces installations.

Note : Le remblayage de carrières classées au titre de la rubrique 2510 de la nomenclature des ICPE n'est pas concerné par ce guide. Il relève de l'arrêté du 22 septembre 1994 modifié, relatif aux exploitations de carrières.

1.2.2 - MATÉRIAU ALTERNATIF

Tout matériau élaboré à partir d'un déchet, ou tout déchet ne nécessitant pas d'être élaboré et destiné à être utilisé, seul ou formulé avec d'autres matériaux, alternatifs ou non, au sein d'un matériau d'aménagement.

Un matériau alternatif est donc un constituant, éventuellement unique, d'un matériau d'aménagement.

1.2.3 - MATÉRIAU D'AMÉNAGEMENT

Tout matériau alternatif ou tout matériau issu de la formulation d'un matériau alternatif avec d'autres matériaux, alternatifs ou non, répondant à un usage en aménagement.

Un matériau d'aménagement est donc un matériau apte à être mis en œuvre en l'état sur un chantier d'aménagement.

1.2.4 - ÉLABORATION

Opération reposant uniquement sur une combinaison de traitements physiques (déshydratation, broyage, concassage, criblage, scalpage, lavage et tri) qualifiés de « préparation » et/ou de traitements physico-chimiques qualifiés de « maturation[2] », visant à produire un matériau alternatif à partir d'un déchet.

Cette phase d'élaboration peut intervenir avant ou après une phase de traitement (mécanique, biologique, chimique ou thermique) dont l'objectif est de réduire les teneurs en certains contaminants.

1.2.5 - FORMULATION

Opération visant à mélanger un matériau alternatif avec d'autres matériaux, alternatifs ou non, dans des proportions déterminées, dans le but d'optimiser les caractéristiques physiques, mécaniques et/ou géotechniques du matériau d'aménagement compte tenu de l'usage en aménagement envisagé.

1.3 - CHAMP D'APPLICATION

1.3.1 - NATURE DES DÉCHETS

Les matériaux alternatifs élaborés à partir de déchets et utilisés dans les aménagements doivent pouvoir être mis en œuvre dans les mêmes conditions et avec les mêmes matériels que les matériaux usuels qu'ils remplacent, le plus souvent dans des environnements divers. Par ailleurs, les chantiers n'étant pas des installations classées pour la protection de l'environnement et la réalisation d'ouvrages relevant rarement de la loi sur l'eau, un tel emploi ne sera pas systématiquement contrôlé par les services de l'État.

Pour ces raisons, les matériaux alternatifs susceptibles d'être utilisés pour des aménagements ne doivent pas avoir été élaborés à partir de déchets dangereux[3] ou contenant une substance radioactive[4].

2. La maturation vise à stabiliser la fraction minérale d'un déchet par carbonatation et/ou oxydation au contact de l'air, sans adjonction de réactifs particuliers. La maturation peut nécessiter des opérations d'aération particulières, comme la mise en andains et le retournement fréquent.
3. Est considéré comme dangereux tout déchet présentant au moins une des propriétés de danger définies à l'annexe III de la directive 2008/98/CE relative aux déchets et abrogeant certaines directives. La liste des déchets, établie par la décision 2000/532/CE modifiée, identifie les déchets dangereux à l'aide d'un astérisque. La communication 2018/C124/01 relative aux recommandations techniques à l'intention des autorités nationales ou locales et des entreprises (pour les questions d'autorisation, par exemple) concernant la classification des déchets fournit des précisions et des orientations sur l'interprétation et l'application correctes de la législation européenne en matière de classification des déchets, c'est-à-dire sur la mise en évidence des propriétés dangereuses, l'évaluation de la dangerosité d'un déchet et, enfin, la classification de ce déchet comme déchet dangereux ou non dangereux.
4. Au sens du Code de l'environnement (article L.542-1-1), une substance radioactive est une substance qui contient des radionucléides, naturels ou artificiels, dont l'activité ou la concentration justifie un contrôle de radioprotection.

Note : Dans le cadre de l'application de la démarche exposée au chapitre 2, la dangerosité doit être évaluée juste avant la phase d'élaboration du matériau alternatif. Ainsi, toute fraction non dangereuse issue d'une opération de traitement d'un déchet dangereux[5] est considérée dans le cadre du présent guide méthodologique comme un déchet non dangereux.

1.3.2 - NATURE DES MATÉRIAUX ALTERNATIFS

La démarche développée au chapitre 2 est applicable à toute typologie de matériaux alternatifs élaborés à partir de déchets – conformes aux dispositions du chapitre 1.3.1 - et utilisés sous forme de granulats, de graves, de matériaux de remblai, de fillers ou de liants au sein de matériaux d'aménagement.

Note : La mise en œuvre de la méthodologie exposée au chapitre 2 est réservée aux seuls matériaux alternatifs dont la fonction utile a été préalablement justifiée.

1.3.3 - NATURE DES PHASES D'ÉLABORATION ET DE FORMULATION

L'objectif principal des phases d'élaboration et de formulation doit rester l'atteinte des performances physiques, mécaniques et/ou géotechniques nécessaires au respect des spécifications d'usage normalisées et/ou le respect d'exigences liées à la compatibilité chimique avec les matériaux ou les éléments en contact (canalisations par exemple).

Note : D'une manière générale, il est interdit de procéder à une opération de stabilisation[6], à une dilution ou à un mélange de déchets dans le but de satisfaire aux critères d'acceptabilité environnementale et sanitaire définis dans le présent guide méthodologique.

1.3.4 - NATURE DES USAGES

Les usages en aménagement envisagés dans ce guide méthodologique sont regroupés selon les six types détaillés ci-après.

Pour les remblais techniques ainsi que les remblais sous ouvrage, couches de forme et assises de voiries routières ou ferroviaires, parkings et plateformes d'activités économiques, trois tableaux de synthèse récapitulent la typologie d'usage à considérer compte tenu des épaisseurs de mise en œuvre du matériau d'aménagement et des caractéristiques de l'ouvrage concerné.

5. Par exemple, le retrait de la fraction chargée en éléments polluants par attrition et/ou séparation granulométrique.
6. Est considérée comme une opération de stabilisation dans le présent guide toute opération visant à utiliser différents réactifs chimiques dans le but de limiter la solubilité des polluants et par conséquent leur rejet dans l'environnement.

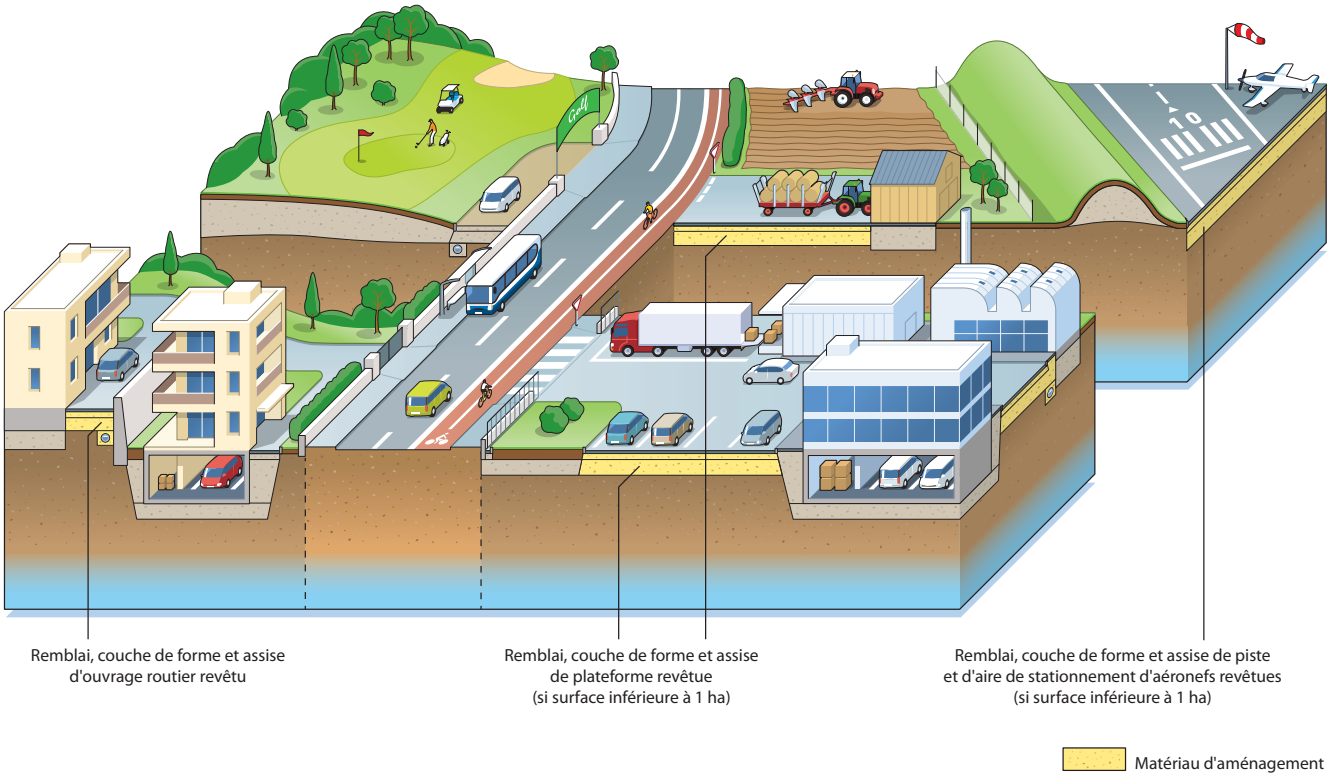
1.3.4.1 - Usages en aménagement de type A1

Les usages en aménagement de type A1 sont les usages d'au plus trois mètres de hauteur en remblai sous ouvrage, couche de forme et assise pour la réalisation :

- de voiries routières ou ferroviaires revêtues[7] ;
- de parkings et de plateformes d'activités économiques[8] revêtus d'une surface inférieure à 1 ha.

Exemples d'usages de type A1

(infographie : Lorenzo Timon)



7. Un ouvrage est réputé « revêtu » si sa couche de surface est réalisée à l'aide d'asphalte, d'enrobés bitumineux, d'enduits superficiels d'usure, de béton de ciment ou de pavés jointoyés par un matériau lié.
8. Sont en particulier concernées les plateformes agricoles ou industrielles (plateformes logistiques ou de stockage), les aires de stockage ou de stationnement des équipements publics, centres commerciaux et entreprises du secteur tertiaire, ainsi que les pistes et aires de stationnement d'aéronefs.

1.3.4.2 - Les usages en aménagement de type A2

Les usages en aménagement de type A2 sont les usages :

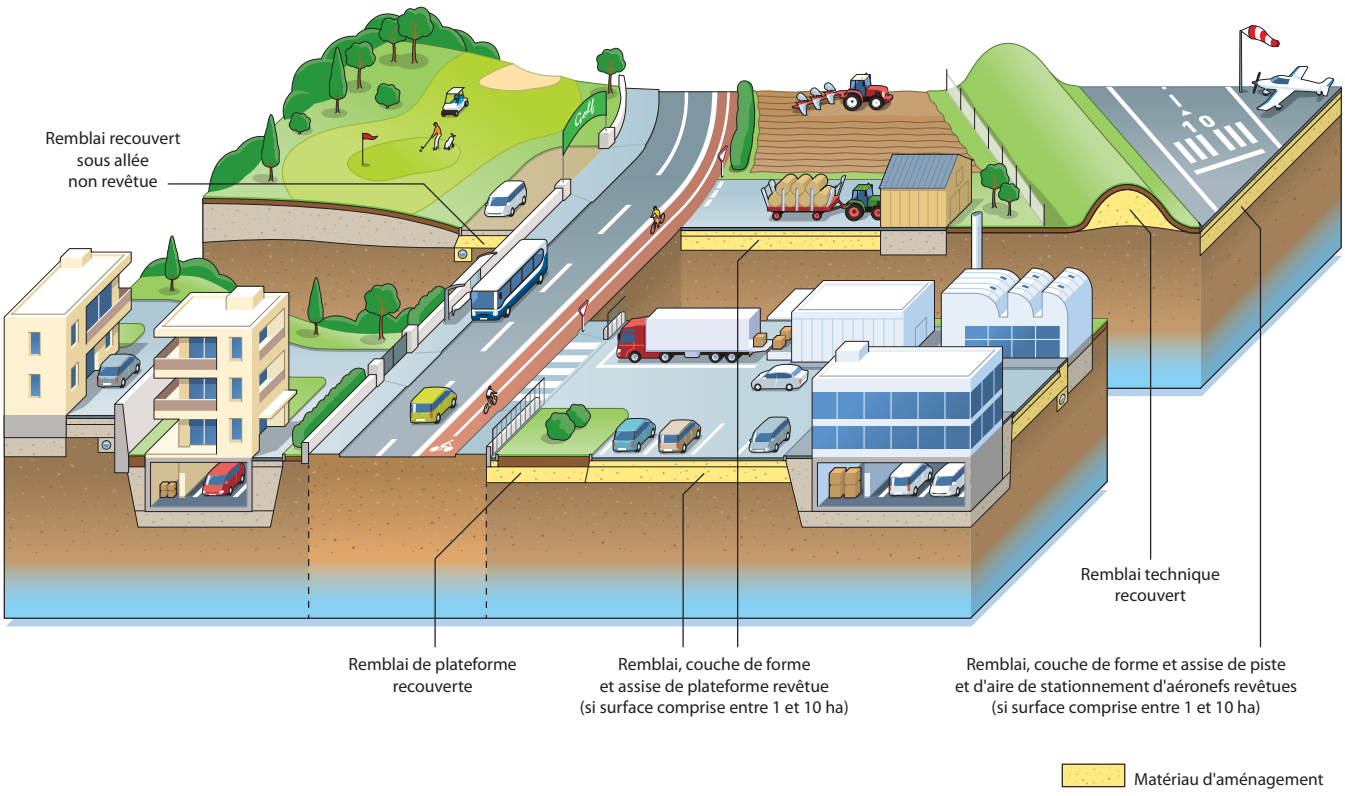
- d'au plus six mètres de hauteur pour la réalisation :
  - de remblais sous ouvrage, couches de forme et assise de voiries routières ou ferroviaires recouvertes[9],
  - de remblais techniques recouverts destinés à assurer une protection visuelle, acoustique, thermique ou antidéflagration ;
- d'au plus trois mètres de hauteur en remblai, couche de forme et assise pour la réalisation de parkings et de plateformes d'activités économiques revêtus d'une surface comprise entre 1 et 10 ha.

Relèvent également des usages en aménagement de type A2 les usages de plus de trois mètres et de moins de six mètres de hauteur :

- en remblai sous voirie routière ou ferroviaire revêtue,
- en remblai sous parkings et plateformes d'activités économiques revêtus d'une surface inférieure à 1 ha.

Exemples d'usages de type A2

(infographie : Lorenzo Timon)



9. Un ouvrage est réputé « recouvert » si les matériaux d'aménagement qui y sont présents sont recouverts par au moins 30 cm de matériaux naturels ou équivalents.

1.3.4.3 - Les usages en aménagement de type A3

Les usages en aménagement de type A3 sont les usages en remblai sous ouvrage, couche de forme et assise pour la réalisation :

- de voiries routières ou ferroviaires non revêtues et non recouvertes ;
- de parkings et de plateformes d'activités économiques :
  - revêtus d'une surface supérieure à 10 ha,
  - recouverts,
  - non revêtus et non recouverts ;
- de remblais techniques non recouverts destinés à assurer une protection visuelle, acoustique, thermique ou antidéflagration ;
- de couches de surface ou de roulement ;
- de systèmes drainants (tranchée ou éperon drainant, chaussée réservoir par exemple).

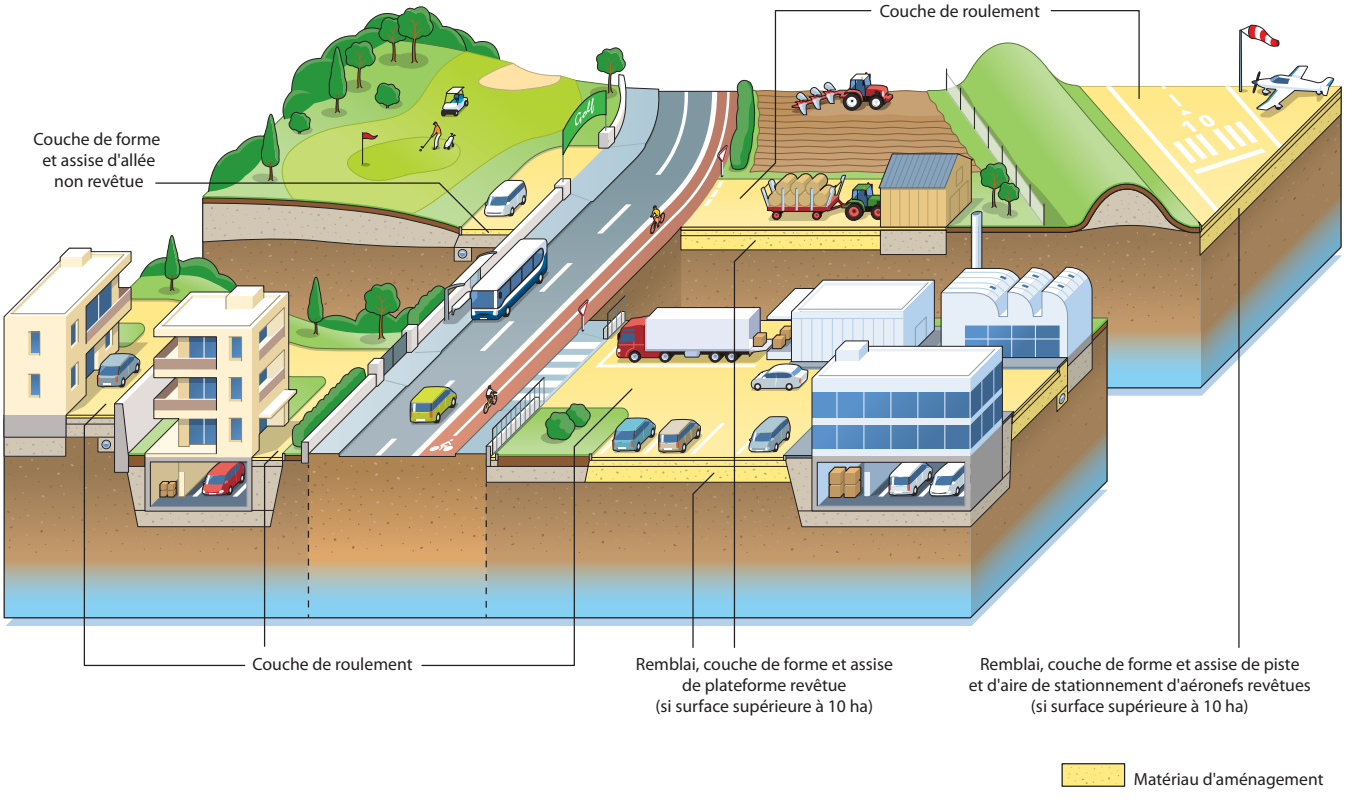
Relèvent également des usages en aménagement de type A3 :

- les usages de plus de trois mètres de hauteur en remblai sous parkings et plateformes d'activités économiques revêtus d'une surface comprise entre 1 et 10 ha ;
- les usages de plus de six mètres de hauteur :
  - en remblai sous voirie routière ou ferroviaire revêtue ou recouverte,
  - en remblai technique recouvert destiné à assurer une protection visuelle, acoustique, thermique ou antidéflagration,
  - en remblai sous parkings et plateformes d'activités économiques revêtus d'une surface inférieure à 1 ha.

Les usages de type A3 ne font l'objet d'aucune restriction d'épaisseur de mise en œuvre.

Exemples d'usages de type A3

(infographie : Lorenzo Timon)



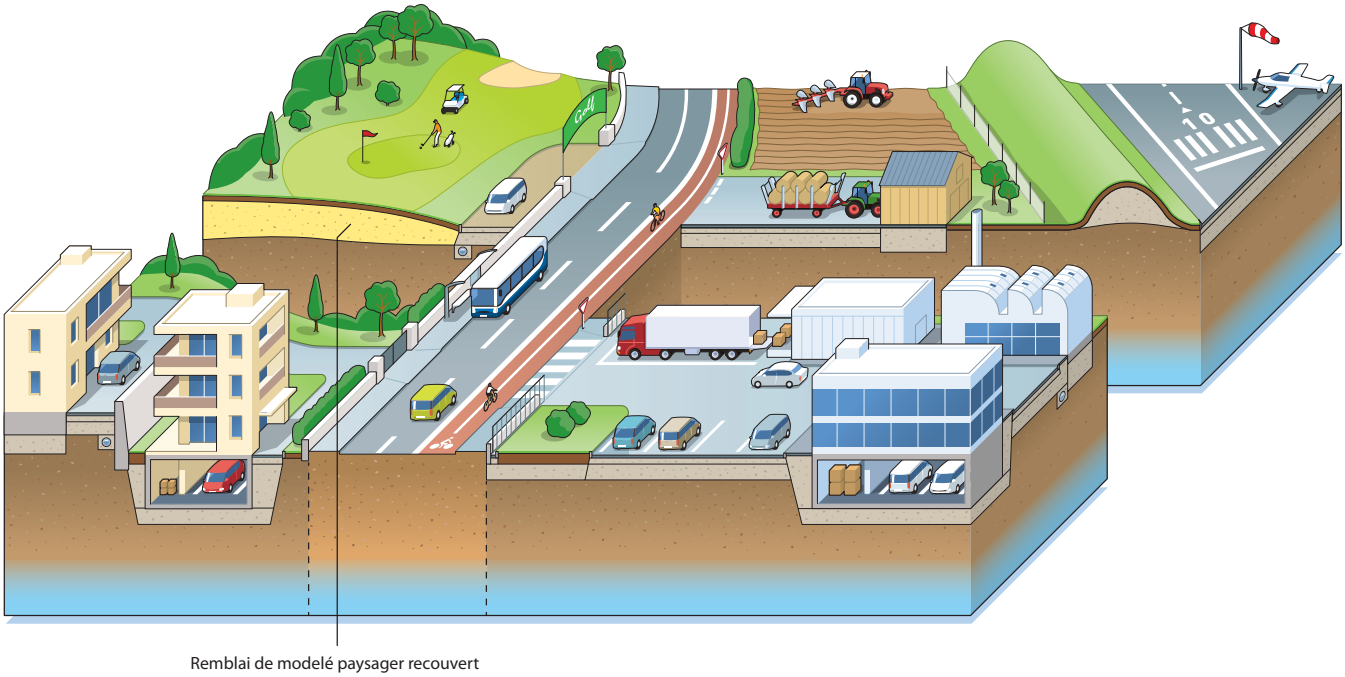
1.3.4.4 - Les usages en aménagement de type A4

Les usages en aménagement de type A4 sont les usages en modelé paysager en extérieur (zones de récréation ou de loisirs, golfs, etc.) recouvert.

Note : Pour les usages de type A4, les dispositions relatives à la nature et aux caractéristiques du recouvrement ainsi qu'aux modalités en matière de conservation de la mémoire des chantiers sont à préciser dans le cadre de l'application de la méthodologie développée par le présent guide à un gisement particulier, par exemple lors de l'élaboration d'un guide d'application. Ces dispositions doivent permettre de se prémunir vis-à-vis des éventuels changements d'usage futurs, en particulier ceux relatifs à la production de fruits et légumes (potagers, vergers), à la culture (céréales, plantes fourragères, etc.) ou à l'élevage (pâtures).

Exemples d'usages de type A4

(infographie : Lorenzo Timon)



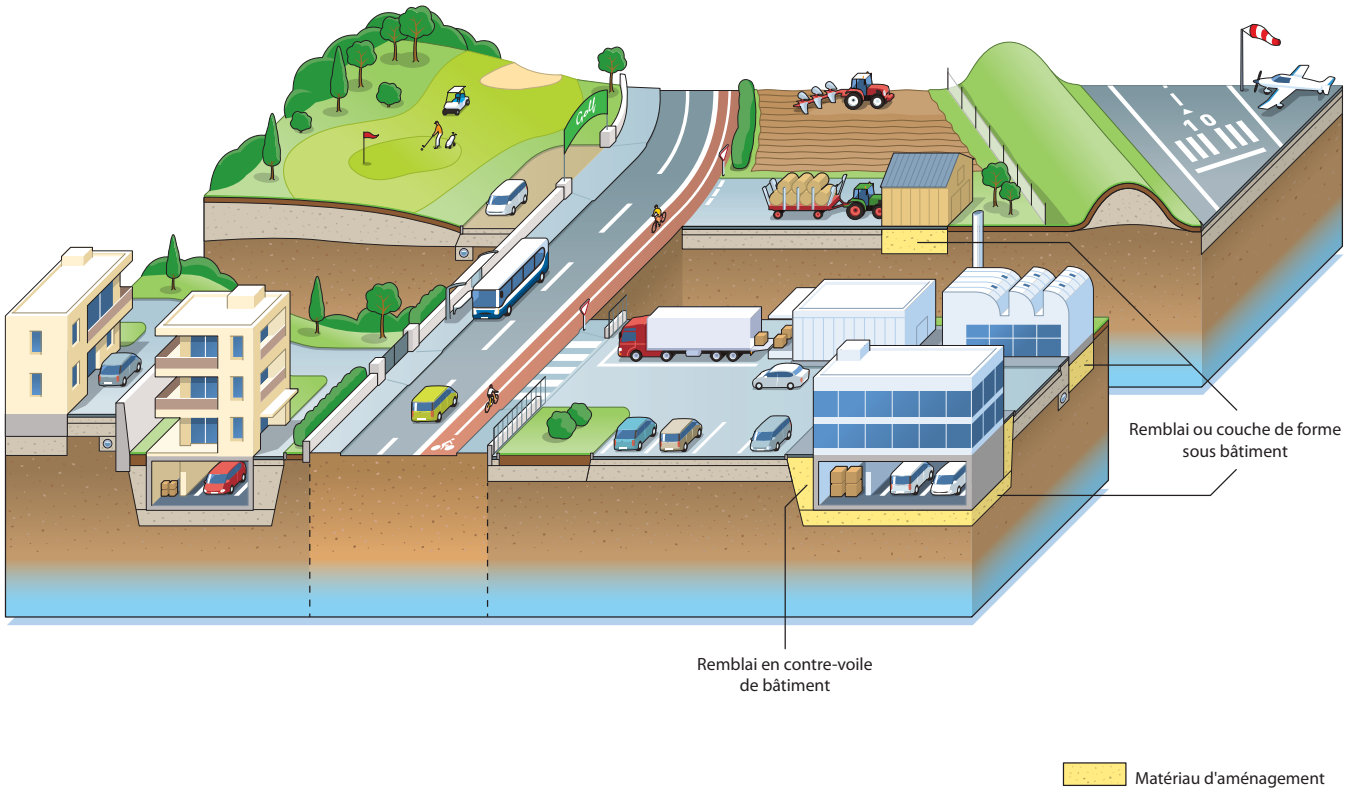
1.3.4.5 - Les usages en aménagement de type A5a

Les usages en aménagement de type A5a sont les usages en remblai ou couche de forme :

- sous des bâtiments sans sous-sol destinés à accueillir exclusivement des bureaux ou des activités industrielles, agricoles et commerciales ;
- sous ou en contre-voile revêtu des bâtiments avec sous-sol destinés à accueillir exclusivement des bureaux ou des activités industrielles et commerciales, dès lors que les sous-sols sont affectés exclusivement à des usages de parking ou d'entreposage.

Exemples d'usages de type A5a

(infographie : Lorenzo Timon)



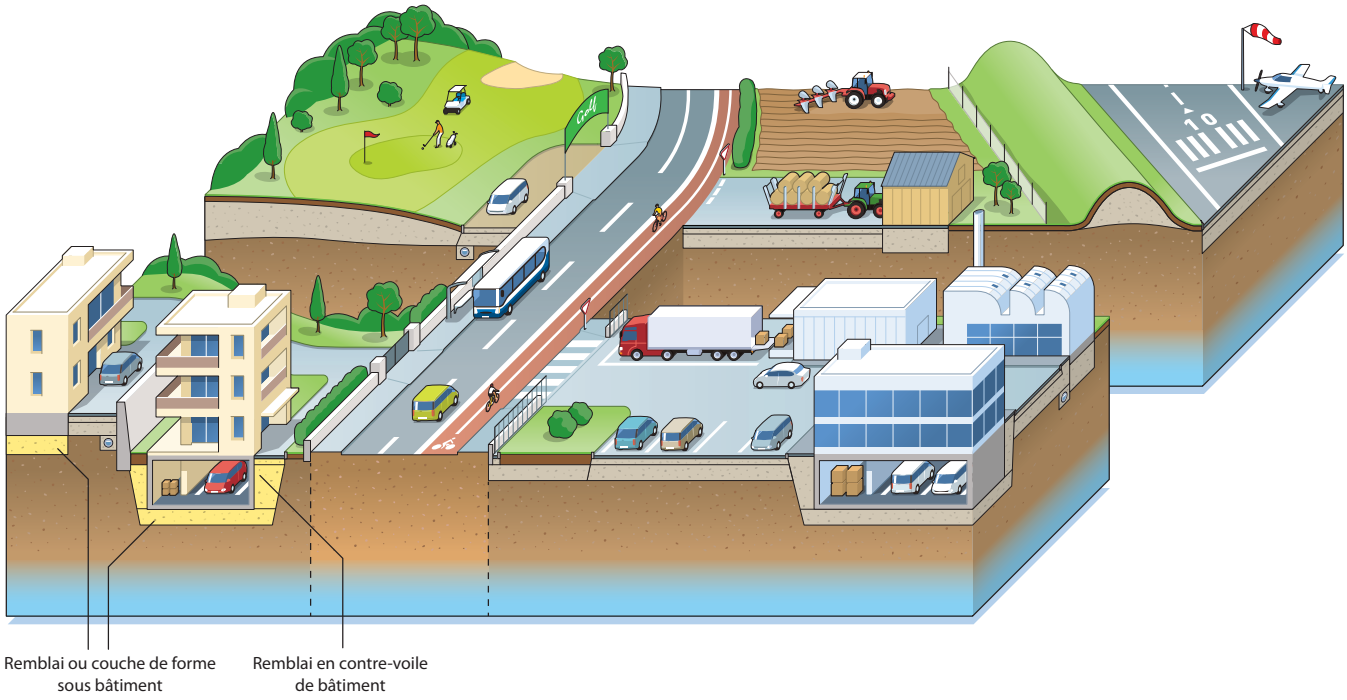
1.3.4.6 - Les usages en aménagement de type A5b

Les usages en aménagement de type A5b sont les usages en remblai ou couche de forme :

- sous des bâtiments sans sous-sol destinés à accueillir, en tout ou partie, des logements collectifs ;
- sous ou en contre-voile revêtu des bâtiments avec sous-sol destinés à accueillir, en tout ou partie, des logements collectifs, dès lors que les sous-sols sont affectés exclusivement à des usages de parking ou d'entreposage.

Exemples d'usages de type A5b

(infographie : Lorenzo Timon)



Note : Les usages de type A5a et A5b peuvent être regroupés au sein d'une typologie d'usages dénommée A5 dans le cadre de l'élaboration d'un guide d'application ou de toute étude de l'acceptabilité environnementale et sanitaire diligentée par un producteur de déchets ou l'un de leurs détenteurs.

1.3.4.7 - Tableaux de synthèse

Pour les remblais techniques ainsi que les remblais sous ouvrage, couches de forme et assises de voiries routières ou ferroviaires, parkings et plateformes d'activités économiques, les tableaux suivants récapitulent la typologie d'usage à considérer compte tenu des épaisseurs de mise en œuvre du matériau d'aménagement et des caractéristiques de l'ouvrage concerné.

Remblai sous ouvrage, couche de forme et assise de voiries routières ou ferroviaires		Caractéristique de l'ouvrage		
		Revêtu	Recouvert	Non revêtu Non recouvert
Épaisseur de mise en œuvre du matériau d'aménagement	h ≤ 3 m	A1	A2	A3
	3 < h ≤ 6 m	A2		
	h > 6 m	A3	A3	

Remblai sous ouvrage, couche de forme et assise de parkings et de plateformes d'activités économiques		Caractéristique de l'ouvrage				
		Revêtu			Recouvert	Non revêtu Non recouvert
		S ≤ 1 ha	1 < S ≤ 10 ha	S > 10 ha		
Épaisseur de mise en œuvre du matériau d'aménagement	h ≤ 3 m	A1	A2	A3	A3	A3
	3 < h ≤ 6 m	A2	A3			
	h > 6 m	A3				

Remblai technique assurant une protection visuelle, acoustique, thermique ou antidéflagration		Caractéristique de l'ouvrage	
		Recouvert	Non revêtu Non recouvert
Épaisseur de mise en œuvre du matériau d'aménagement	h ≤ 6 m	A2	A3
	h > 6 m	A3	

Pour mémoire :

Un ouvrage est réputé « revêtu » si sa couche de surface est réalisée à l'aide d'asphalte, d'enrobés bitumineux, d'enduits superficiels d'usure, de béton de ciment ou de pavés jointoyés par un matériau lié.

Un ouvrage est réputé « recouvert » si les matériaux d'aménagement qui y sont présents sont recouverts par au moins 30 centimètres de matériaux naturels ou équivalents.

CHAPITRE 2

Étude de l'acceptabilité environnementale et sanitaire

2. ÉTUDE DE L'ACCEPTABILITÉ ENVIRONNEMENTALE ET SANITAIRE

L'étude de l'acceptabilité environnementale et sanitaire doit permettre de savoir si un matériau alternatif, élaboré à partir de déchets, peut être utilisé au sein d'un matériau d'aménagement dans un ou plusieurs usages rentrant dans le champ d'application défini au chapitre 1.3.

Préalablement à l'application de cette démarche, il convient de s'assurer que le matériau alternatif dont l'utilisation est proposée dans les aménagements remplit une fonction utile, c'est-à-dire qu'il participe à atteindre les caractéristiques physiques, mécaniques et/ou géotechniques correspondant à l'usage visé et conformes aux normes de spécifications d'usage en vigueur.

2.1 - ÉTUDE DE L'ACCEPTABILITÉ ENVIRONNEMENTALE

L'étude de l'acceptabilité environnementale d'un matériau alternatif dans les aménagements repose sur une connaissance précise :

- du déchet à partir duquel est élaboré le matériau alternatif (étape 1) ;
- du mode d'élaboration du matériau alternatif et de formulation du matériau d'aménagement associé ainsi que de l'usage en aménagement envisagé (étape 2) ;
- de la caractérisation environnementale des matériaux confectionnés (étape 3).

2.1.1 - ÉTAPE 1 : DESCRIPTION DU DÉCHET ET DE SON GISEMENT

2.1.1.1 - Objectifs

Cette première étape a pour but de :

- fournir des informations essentielles concernant le déchet à partir duquel est élaboré le matériau alternatif ;
- vérifier que le déchet est inclus dans le champ d'application du présent guide (cf. chapitre 1.3.1) ;
- acquérir des connaissances sur le procédé ayant généré ce déchet afin de mieux appréhender les conséquences potentielles sur ses caractéristiques environnementales, ainsi que celles du matériau alternatif et des matériaux d'aménagement auxquels il donnera naissance.

La majorité des informations à fournir pour cette étape relève déjà de la réglementation « déchets » et ne constitue donc pas une investigation importante.

Dans le cas où *in fine* le matériau d'aménagement requiert une formulation faisant intervenir plusieurs matériaux alternatifs, chaque gisement de déchets utilisé pour élaborer chacun des matériaux alternatifs est concerné par cette étape 1.

2.1.1.2 - Contenu

Dans le cadre de la réalisation de l'étape 1, il convient de réunir et de synthétiser les informations concernant :

1. les sources et origines géographiques du déchet et l'évaluation de l'importance du gisement (tonnage) ;
2. l'apparence du déchet : odeur, couleur, forme physique (granulaire, pulvérulent, pâteux, monolithique) ;
3. le code à 6 chiffres et le classement du déchet selon la liste des déchets figurant à l'annexe de la décision 2000/532/CE du 3 mai 2000 modifiée, pour établir notamment qu'il s'agit d'un déchet non dangereux ;

Note : Si le code du déchet relève d'une « entrée miroir »[10] ou lorsque le code du déchet se termine par 99[11], la question de la qualification dangereux/non dangereux doit être résolue en passant en revue les propriétés de danger mentionnées à l'annexe III de la directive 2008/98/CE relative aux déchets. Si le déchet possède au moins une propriété de danger, il est dangereux. Pour effectuer ce classement, le guide d'application pour la caractérisation en dangerosité [6] constitue un outil adapté.

4. les filières actuelles de valorisation et d'élimination ;
5. la nature du procédé produisant le déchet et son fonctionnement ;
6. les éventuels paramètres spécifiques, non listés dans les tableaux 2 et 3 du chapitre 2.1.3.5, dont la prise en compte est nécessaire à l'étude de l'acceptabilité environnementale des matériaux alternatif et d'aménagement (bore, chrome hexavalent, phénols, par exemple).

2.1.2 ÉTAPE 2 : DESCRIPTION DES MATÉRIAUX ET DE L'USAGE ENVISAGÉ

2.1.2.1 - Objectifs

Pour chaque matériau d'aménagement envisagé, cette seconde étape a pour but :

- de fournir des informations essentielles concernant le matériau alternatif, le matériau d'aménagement associé et l'usage en aménagement envisagé ;
- d'acquérir des connaissances sur le procédé d'élaboration du matériau alternatif et du matériau d'aménagement, afin de mieux appréhender les conséquences potentielles sur leurs comportements environnementaux.

Dans le cas où le matériau d'aménagement est issu d'une formulation faisant intervenir plusieurs matériaux alternatifs, les points 1 et 2 du chapitre 2.1.2.2 ci-après doivent concerner chacun des matériaux alternatifs entrant dans sa composition.

2.1.2.2 - Contenu

Dans le cadre de la réalisation de l'étape 2, il convient de réunir et de synthétiser les informations concernant :

1. Les principaux lieux de fabrication, de stockage, d'élaboration du matériau alternatif ainsi que son éventuelle dénomination commerciale et ses utilisations autres que dans les aménagements ;
2. L'élaboration du matériau alternatif à partir du gisement du déchet :
   a. Concernant la préparation, il convient de préciser le type et les caractéristiques des traitements physiques mis en œuvre : déshydratation, broyage, concassage, criblage, scalpage, lavage et tri (métaux ferreux, non ferreux, imbrûlés éventuels, phase minérale résiduelle, etc.),
   b. Concernant la maturation, il convient de préciser le type et les caractéristiques des réactions physico-chimiques mises en œuvre (oxydation, carbonatation), la durée et la méthode opératoire — selon qu'elle est passive (simple vieillissement sans action sur le tas) ou active (reprise du tas, par exemple par retournement afin d'homogénéiser les réactions dans tout le volume) ;
3. Le type de matériau d'aménagement envisagé[12] en précisant la fonction utile du matériau alternatif employé au regard de l'usage en aménagement visé ainsi que le référentiel technique correspondant (norme ou guide technique) ;

10. Un déchet fait l'objet d'une entrée dite « miroir » lorsqu'il est susceptible de relever de deux codes différents, un code où il est classé dangereux et un code où il est classé non dangereux, selon qu'il contient ou non des substances dangereuses. En général, ces entrées « miroir » consistent en deux rubriques successives dans la liste des déchets figurant à l'annexe de la décision 2000/532/CE du 3 mai 2000 modifiée, et le déchet relèvera de la rubrique qui le classe comme dangereux s'il possède au moins une des propriétés de danger définie à l'annexe III de la directive 2008/98/CE relative aux déchets.
11. Ces codes regroupent l'ensemble des déchets non spécifiés ailleurs dans la liste des déchets figurant à l'annexe de la décision 2000/532/CE du 3 mai 2000 modifiée.
12. Exemples : matériau de remblai, mélange granulaire non traité, mélange granulaire traité aux liants hydrauliques ou hydrocarbonés, béton autocompactant, etc.

4. Les principaux lieux de fabrication, de stockage, d'élaboration du matériau d'aménagement ainsi que son éventuelle dénomination commerciale ;
5. La formulation du matériau d'aménagement à partir du matériau alternatif et d'autres constituants en indiquant la part relative de chaque constituant au sein du mélange et en décrivant le processus de formulation ;
6. L'usage en aménagement ainsi que les épaisseurs ou hauteurs envisagées ;
7. Les exemples nationaux d'emplois antérieurs et les chantiers de référence s'ils existent, en détaillant les informations essentielles (localisation et nature de l'aménagement, types d'usage, épaisseurs et volumes mis en œuvre, etc.).

2.1.3 - ÉTAPE 3: CARACTÉRISATION ENVIRONNEMENTALE DES MATÉRIAUX

2.1.3.1 - Objectifs

L'objectif de cette étape est de démontrer, pour chaque usage en aménagement envisagé, que les émissions dans l'eau sont compatibles avec le respect des objectifs de qualité des eaux retenus et que les teneurs en polluants organiques sont limitées.

Cette étape envisage deux niveaux d'investigations, qui peuvent être complémentaires, permettant de structurer l'effort de démonstration de manière proportionnée :

- le niveau 1 repose sur la réalisation d'essais de lixiviation (éventuellement complétés par des essais de percolation) et l'analyse des éluats ainsi que sur des analyses en contenu total (cf. chapitre 2.1.3.5) ;
- le niveau 2 repose sur la production d'une étude spécifique pour justifier de l'acceptabilité environnementale du matériau étudié au regard de tout ou partie des paramètres à suivre, notamment lorsque la mise en œuvre du niveau 1 n'a pas permis de conclure favorablement (cf. chapitre 2.1.3.6).

2.1.3.2 - Nature des matériaux à caractériser

La caractérisation environnementale peut porter au choix sur :

1. Le déchet, s'il est démontré que les phases d'élaboration et de formulation n'ont pas d'effet défavorable sur le comportement du matériau alternatif et son comportement au sein du matériau d'aménagement ;
2. Le matériau alternatif, s'il est démontré que la formulation n'a pas d'effet défavorable sur son comportement[13] au sein du matériau d'aménagement ;
3. Le matériau d'aménagement, sous réserve qu'il résulte d'une formulation et non d'une opération de stabilisation et/ou de dilution dans le but de satisfaire aux critères d'acceptabilité environnementale et sanitaire définis dans le présent guide méthodologique.

L'option n°1 est à privilégier si l'élaboration du matériau alternatif et la formulation du matériau d'aménagement sont réalisées de manière concomitante au sein d'un même process.

L'option n°2 est à privilégier lorsqu'un même matériau alternatif peut entrer dans la composition de plusieurs matériaux d'aménagement, car elle permet de limiter l'ampleur de la phase de caractérisation initiale mais également, par la suite, des vérifications de conformité.

L'option n°3 est à privilégier lorsque le matériau alternatif ne peut être utilisé seul en tant que matériau d'aménagement et que, par conséquent, il est plus pertinent de s'intéresser directement au comportement du matériau d'aménagement au sein duquel il est utilisé.

13. Par exemple, la phase de formulation peut modifier le pH du matériau alternatif. Dans ce cas, des essais menés conformément aux normes NF EN 14429 et NF EN 14997 permettent d'étudier les éventuelles modifications de comportement à la lixiviation.

2.1.3.3 - Paramètres à suivre

Les paramètres à suivre dans le cadre de la réalisation de cette étape sont au minimum ceux listés dans les tableaux 2 et 3 du chapitre 2.1.3.5.

À ces paramètres génériques sont ajoutés les paramètres spécifiques mis en évidence lors de l'étape 1 et dont la prise en considération est nécessaire pour l'étude de l'acceptabilité environnementale du matériau étudié.

Pour chacun des paramètres spécifiques ajoutés, il convient de proposer les valeurs limites associées afin de compléter les tableaux 2 et 3 du chapitre 2.1.3.5 ainsi que les méthodes de mesure adaptées.

La liste des paramètres spécifiques, les valeurs limites et les méthodes de mesure associées doivent obtenir la validation du Cerema, notamment dans le cadre de l'élaboration d'un guide d'application.

2.1.3.4 - Techniques d'échantillonnage et d'analyse

Les normes et rapports techniques relatifs à l'échantillonnage listés dans le tableau 1 fournissent des exigences et des exemples qu'il est recommandé de suivre.

Tableau 1 : Normes et rapports techniques de référence concernant l'échantillonnage

NF EN 14899	Caractérisation des déchets - Prélèvement des déchets : Procédure-cadre pour l'élaboration et la mise en œuvre d'un plan d'échantillonnage. Avril 2006
NF EN 932-1	Essais pour déterminer les propriétés générales des granulats – Partie 1 : Méthodes d'échantillonnage. Décembre 1996
NF EN 932-2	Essais pour déterminer les propriétés générales des granulats – Partie 2 : Méthodes de réduction d'un échantillon pour laboratoire. Août 1999
FD CEN/TR 15310-1	Caractérisation des déchets - Prélèvement des déchets – Partie 1 : Guide relatif au choix et à l'application des critères d'échantillonnage dans diverses conditions. Mars 2007
FD CEN/TR 15310-2	Caractérisation des déchets - Prélèvement des déchets – Partie 2 : Guide relatif aux techniques d'échantillonnage. Mars 2007
FD CEN/TR 15310-3	Caractérisation des déchets - Prélèvement des déchets – Partie 3 : Guide relatif aux procédures de sous-échantillonnage sur le terrain. Mars 2007
FD CEN/TR 15310-4	Caractérisation des déchets - Prélèvement des déchets – Partie 4 : Guide relatif aux procédures d'emballage, de stockage, de conservation, de transport et de livraison des échantillons. Mars 2007
FD CEN/TR 15310-5	Caractérisation des déchets - Prélèvement des déchets – Partie 5 : Guide relatif au processus d'élaboration d'un plan d'échantillonnage. Mars 2007

Les techniques d'échantillonnage doivent permettre à chaque élément présent dans le matériau d'être représenté dans l'échantillon selon la même probabilité.

Les échantillons prélevés doivent être conservés dans le respect des exigences des normes d'analyses des paramètres à déterminer et des recommandations du fascicule de documentation FD CEN/TR 15310-4.

Les techniques d'analyse, conformes aux normes en vigueur, doivent être choisies de manière que les limites de quantification associées permettent de positionner sans ambiguïté les résultats avec les valeurs limites des paramètres suivis (cf. tableaux 5 et 6 en annexe 1).

2.1.3.5 Caractérisation environnementale de niveau 1

2.1.3.5.1 Objectif

L'objectif du niveau 1 de caractérisation est de justifier l'acceptabilité environnementale du matériau étudié au regard des usages envisagés en s'appuyant sur la réalisation d'essais de lixiviation (éventuellement complétés par des essais de percolation) et l'analyse des éluats ainsi que sur des analyses en contenu total.

2.1.3.5.2 Contenu

Dans le cadre du niveau 1 de caractérisation, il convient d'étudier la variabilité du matériau étudié et de juger de son acceptabilité environnementale pour l'usage visé en procédant de la manière suivante :

1. Déterminer la stratégie d'échantillonnage à adopter pour évaluer l'acceptabilité du gisement de matériau étudié, compte tenu de la variabilité spatiale et temporelle de la production ;
2. Constituer les échantillons à analyser en suivant la stratégie d'échantillonnage retenue ;
3. Soumettre une prise d'essai de chaque échantillon à l'essai de lixiviation NF EN 12457-2 [7] et déterminer les quantités relarguées au ratio L/S=10 l/kg pour les paramètres à suivre en émission dans l'eau ;

> Note : Si l'application de la norme NF EN 12457-2 [7] nécessite une réduction granulométrique, il est toléré d'appliquer la norme NF EN 12457-4 [8].

4. De manière optionnelle, soumettre une autre prise d'essai de chaque échantillon à l'essai de percolation NF EN 14405 [9] ou NF EN 16637-3 [10] et déterminer les quantités relarguées au ratio L/S=10 l/kg pour les paramètres à suivre en émission dans l'eau. Pour le calcul des quantités relarguées cumulées, il convient de considérer une concentration égale à la moitié de la limite de quantification lorsque la concentration mesurée est inférieure à la limite de quantification ;

> Note : Pour le suivi de certains paramètres, le recours aux essais de percolation peut se révéler pertinent lorsque les seuls essais de lixiviation en batch ne permettent pas de valider l'acceptabilité environnementale des échantillons testés. Pour les paramètres concernés, les résultats des essais de percolation priment sur ceux de lixiviation en batch.
>
> L'expérience a toutefois montré qu'il était nécessaire de disposer d'au moins une douzaine d'échantillons pour tenter d'établir une corrélation satisfaisante ($R^2 \geq 0,8$) entre les résultats des essais de lixiviation en batch et ceux menés en percolation et ainsi déterminer les nouvelles valeurs limites en lixiviation à considérer, en substitution de celles figurant dans le tableau 2 et dans les limites fixées par le tableau 4.

5. Mesurer, sur une autre prise d'essai de chaque échantillon, les teneurs au sein du matériau pour les paramètres à suivre en contenu total ;
6. Comparer les résultats obtenus aux valeurs limites des tableaux 2 et 3 ci-après pour les paramètres génériques et aux valeurs limites proposées pour les paramètres spécifiques, le cas échéant corrigées par les résultats de l'étude du comportement en percolation.

Note : Pour chaque prise d'essai ayant enregistré au moins un dépassement des valeurs limites, il est possible de renouveler l'essai correspondant sur au moins deux nouvelles prises d'essai du même échantillon et de prendre pour valeur représentative de chaque paramètre la médiane des valeurs ainsi obtenues.

L'acceptabilité d'un échantillon est validée si les résultats des essais de lixiviation et des analyses en contenu total sont inférieurs ou égaux aux valeurs limites des tableaux 2 et 3 ci-après pour les paramètres génériques et aux valeurs proposées pour les paramètres spécifiques, le cas échéant corrigées par les résultats de l'étude du comportement en percolation.

Pour les échantillons ayant enregistré au moins un dépassement des valeurs limites des tableaux 2 et 3 ci-après pour les paramètres génériques ou des valeurs proposées pour les paramètres spécifiques, le cas échéant corrigées par les résultats de l'étude du comportement en percolation, il est possible de recourir à une caractérisation environnementale de niveau 2 pour les paramètres concernés.

Tableau 2 : Valeurs limites en émission dans l'eau à ne pas dépasser en fonction de l'usage envisagé

Paramètre	Valeur limite en émission dans l'eau (mg/kg de matière sèche à L/S=10 l/kg)		
	Usages Types A1, A5a et A5b	Usages Type A2	Usages Types A3 et A4
As	0,8	0,6	0,6
Ba	56	28	25
Cd	0,4	0,2	0,05
Cr total	4	2	0,6
Cu	20	20	3
Hg	0,08	0,04	0,01
Mo	5,6	2,8	0,6
Ni	1,6	0,8	0,5
Pb	0,8	0,6	0,6
Sb	0,4	0,2	0,08
Se	0,8	0,4	0,1
Zn	30	30	5
Fluorures	60	30	30
Chlorures (*)	10 000	5 000	5 000
Sulfates (*)	10 000	5 000	5 000
Fraction soluble (*)	20 000	10 000	10 000

(*) Concernant les chlorures, les sulfates et la fraction soluble, il convient, pour que l'échantillon soit jugé conforme, de respecter soit les valeurs associées aux chlorures et aux sulfates, soit celles associées à la fraction soluble.

Tableau 3 : Valeurs limites en contenu total à ne pas dépasser en fonction de l'usage envisagé

Paramètre	Valeur limite en contenu total (mg/kg de matière sèche)	
	Usages Types A1, A2, A3, A5a et A5b	Usages Type A4
COT (*), (**), (***) (carbone organique total)	30 000	30 000
BTEX (benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes)	6	6
PCB (polychlorobiphényles, 7 congénères)	1	1
HC (***) (hydrocarbures, C10-C40)	500	500
HAP (***) (hydrocarbures aromatiques polycycliques, 16 US-EPA)	50	50
Dioxines et furanes (****)	10 ng I-TEQ$_{OMS, 2005}$/kg de matière sèche	6 ng I-TEQ$_{OMS, 2005}$/kg de matière sèche

(*) La teneur en COT est déterminée selon la norme NF EN 15936 ou NF ISO 10694. Toutefois, si la fraction massique des composés carbonés hautement condensés et hautement aromatiques très stables est importante, il est possible de recourir à la norme NF EN 17505, afin de différencier la teneur en carbone organique (COT400) qui est libéré à des températures allant jusqu'à 400°C, de la teneur en carbone oxydable résiduel (COR). Dans ce dernier cas, la valeur à considérer pour juger de l'acceptabilité environnementale est celle du COT400.
(**) Si la teneur en COT, éventuellement corrigée selon (*), est supérieure à 30 000 mg/kg MS mais inférieure à 60 000 mg/kg MS, l'échantillon peut être déclaré conforme au regard de ce paramètre si la valeur limite de 500 mg/kg MS est respectée sur éluat (NF EN 12457-2 ou 4).
(***) Les valeurs limites associées au carbone organique total (COT), aux hydrocarbures (HC) et aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) peuvent être adaptées, dans le cadre de l'élaboration d'un guide d'application notamment, pour tenir compte de composés organiques dont la présence ne peut être évitée du fait de la technique constructive retenue (liants hydrocarbonés par exemple), sous réserve de justifier l'absence d'impact environnemental et sanitaire lié à la présence de ces composés aux teneurs observées.
(****) Uniquement pour les déchets issus d'un traitement thermique et les matériaux alternatif et d'aménagement élaborés, en tout ou partie, à partir de ces déchets. D'autre part, lorsque la concentration d'un congénère est inférieure à la limite de quantification, alors elle est considérée comme nulle dans le calcul de la quantité cumulée pour tous les congénères.

2.1.3.6 - Caractérisation environnementale de niveau 2

2.1.3.6.1 - Objectif

Dans l'hypothèse où le niveau 1 de caractérisation environnementale ne permet pas de justifier l'acceptabilité environnementale du matériau étudié ou que les procédures ou les essais associés ne semblent pas adaptés à la nature ou au comportement de ce matériau, le présent guide méthodologique laisse la possibilité de justifier l'acceptabilité environnementale du matériau dans les aménagements sur la base d'une étude spécifique.

Cette étude spécifique nécessite d'être validée par le Cerema.

2.1.3.6.2 - Principes à respecter

Le choix des investigations à entreprendre est laissé libre, sous réserve que :

- l'étude de l'altération du matériau et de l'émission des polluants soit menée selon les prescriptions de la norme méthodologique NF EN 12920+A1 [3] ou de toute autre méthodologie équivalente ;
- pour définir les valeurs limites, les impacts environnementaux soient étudiés de manière à démontrer un niveau de protection de l'environnement au moins équivalent à celui considéré dans le cadre du présent guide méthodologique ;
- en cas de recours à des modélisations, les principes précisés à l'annexe 2 du présent guide soient respectés.

2.1.3.6.3 - Limites à respecter

Quel que soit le choix des investigations retenu, l'étude spécifique ne peut en aucun cas aboutir à proposer des valeurs limites supérieures à celles fixées dans le tableau 4 ci-après.

Tableau 4 : Valeurs limites maximales en émission dans l'eau à ne pas dépasser

Paramètre	Valeur limite en émission dans l'eau (mg/kg de matière sèche à L/S=10 l/kg)
	Usages des types A1, A2, A3, A4, A5a et A5b
As	2
Ba	100
Cd	1
Cr total	10
Cu	20
Hg	0,2
Mo	10
Ni	10
Pb	10
Sb	0,7
Se	0,8
Zn	30
Fluorures	150
Chlorures	15 000
Sulfates	20 000

2.2 - ÉTUDE DE L'ACCEPTABILITÉ SANITAIRE

En complément de l'étude de l'acceptabilité environnementale décrite au chapitre 2.1, une évaluation quantitative des risques sanitaires est requise.

Pour chaque gisement de matériaux alternatifs concerné, cette évaluation est menée sur la base des lignes directrices et de la méthodologie générale présentées en annexe 3, tenant compte des caractéristiques physico-chimiques des matériaux et des scénarios d'exposition.

Les résultats sont consignés dans le guide d'application correspondant lors de son élaboration ou, lorsqu'aucun guide d'application n'existe ni n'est prévu pour le gisement concerné, au sein de l'étude de l'acceptabilité environnementale et sanitaire diligentée par le producteur du déchet étudié ou l'un de ses détenteurs.

CHAPITRE 3

Objet et contenu des guides d'application

3. OBJET ET CONTENU DES GUIDES D'APPLICATION

3.1 - OBJET

L'objet principal des guides d'application est de consigner, pour les principaux gisements de déchets valorisables dans les aménagements, les conclusions obtenues lors de l'application de la démarche d'acceptabilité environnementale et sanitaire du présent guide méthodologique (caractérisation initiale) et de définir le cadre dans lequel devra s'inscrire le plan d'assurance qualité de la production des matériaux alternatifs et des matériaux d'aménagement associés (contrôle de conformité).

Contrairement au présent guide méthodologique, les guides d'application sont rédigés dans l'optique de fournir aux maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre et entreprises de travaux publics, une référence sur laquelle ils peuvent directement s'appuyer dans le cadre de leurs projets.

Ainsi, pour les matériaux alternatifs disposant d'un guide d'application, il n'est pas utile de se référer à la démarche du présent guide méthodologique. Il convient de suivre directement les prescriptions du guide d'application correspondant.

3.2 - CONTENU

Chaque guide d'application doit, pour le gisement concerné :

- organiser et présenter les informations demandées au stade des étapes 1 et 2 ainsi que les conclusions associées aux résultats obtenus au stade de l'étape 3 de l'étude de l'acceptabilité environnementale et sanitaire définie au chapitre 2 ;
- définir des couples matériaux/usages envisageables ;
- définir le contenu du contrôle de conformité, notamment :
  - les procédures d'assurance qualité de la production des matériaux alternatifs et des matériaux d'aménagement (plan d'échantillonnage, fréquence de prélèvement, etc.),
  - les paramètres environnementaux et, le cas échéant, sanitaires pertinents,
  - le référentiel de conformité à respecter (types d'essais, méthodes de mesure et valeurs limites associées) ;
- préciser les éventuelles limitations d'usage et recommandations à observer concernant :
  - l'utilisation de matériaux alternatifs dans les zones à fort relief ou fortement fracturées, car plus sensibles ;
  - l'utilisation de matériaux alternatifs à une cote inférieure aux plus hautes eaux connues, à proximité d'un cours d'eau, dans les zones répertoriées comme présentant une sensibilité particulière vis-à-vis des milieux aquatiques et de leurs usages (exemples : périmètre de protection rapprochée d'un captage d'alimentation en eau potable) ou faisant l'objet d'une protection générale (parcs nationaux ou régionaux) ;
  - la constitution et la gestion des stocks-tampons dans l'emprise du chantier ;
- préciser les obligations des différents acteurs afin d'assurer la conservation de la mémoire des chantiers.

Pour les gisements de déchets qui sont déjà valorisés dans les aménagements, les résultats issus du retour d'expérience peuvent être utilisés autant que de besoin lors de l'élaboration du guide d'application correspondant, notamment lorsqu'ils permettent de répondre aux exigences de l'étude de l'acceptabilité environnementale et sanitaire exposée au chapitre 2.

Les guides d'application sont élaborés à l'initiative des principales fédérations professionnelles concernées et validés par le ministère chargé de l'environnement, avec l'appui des organismes publics experts placés sous sa tutelle.

Note : Les guides d'application constituent un référentiel pour toute valorisation sous statut de déchet ainsi que dans le cadre de toute procédure de sortie du statut de déchet explicite lorsqu'un arrêté ministériel pris en application de l'article L.541-4-3 du Code de l'environnement le prévoit. Dans le cas d'une sortie du statut de déchet explicite, l'arrêté du 19 juin 2015 modifié – relatif au système de gestion de la qualité mentionné à l'article D.541-12-14 du Code de l'environnement – constitue la référence en matière de gestion de la qualité.

Annexes

1. Normes d'analyses 36

2. Principes de la modélisation environnementale 38

3. Principes de l'élaboration des concentrations limites sanitaires 40

4. Bibliographie 48

5. Sigles 50

1. NORMES D'ANALYSES

Tableau 5 : Normes d'essai et limites de quantification minimales pour les analyses sur éluats

Paramètre	Limite de quantification minimale		Normes pour l'analyse des éluats selon FD CEN/TR 16192	
	mg/kg de MS	mg/l	Norme d'essai à respecter	Norme d'essai alternative[14]
As	0,05	0,005	NF EN ISO 11885 ou NF ISO 17378-1 ou NF ISO 17378-2	NF EN ISO 17294-2
Ba	1	0,1	NF EN ISO 11885	NF EN ISO 17294-2
Cd	0,01	0,001	ISO 8288 ou NF EN ISO 11885	NF EN ISO 17294-2
Cr total	0,1	0,01	NF EN ISO 11885	NF EN ISO 17294-2
Cu	1	0,1	ISO 8288 ou NF EN ISO 11885	NF EN ISO 17294-2
Hg	0,005	0,0005	NF EN ISO 12846	NF EN ISO 17294-2 ou NF EN ISO 17852
Mo	0,1	0,01	NF EN ISO 11885	NF EN ISO 17294-2
Ni	0,1	0,01	ISO 8288 ou NF EN ISO 11885	NF EN ISO 17294-2
Pb	0,1	0,01	ISO 8288 ou NF EN ISO 11885	NF EN ISO 17294-2
Sb	0,04	0,004	NF EN ISO 11885	NF EN ISO 17294-2 ou NF ISO 17378-1 ou NF ISO 17378-2
Se	0,05	0,005	NF EN ISO 11885	NF EN ISO 17294-2 ou ISO/TS 17379-1 ou ISO/TS 17379-2
Zn	1	0,1	ISO 8288 ou NF EN ISO 11885	NF EN ISO 17294-2
Fluorures	1	0,1	NF EN ISO 10304-1 ou ISO 10359-1	NF T90-004
Chlorures	10	1	NF ISO 9297 ou NF EN ISO 10304-1 ou NF EN ISO 15923-1	NF EN ISO 15682
Sulfates	10	1	NF EN ISO 10304-1 ou NF EN ISO 15923-1	NF T90-040
Fraction soluble	100	10	NF EN 15216	NF T90-029

14. En cas d'utilisation de normes d'analyse alternatives, comme les méthodes validées pour l'analyse de l'eau, telles que les techniques FG-SAA, ICP-MS pouvant être utilisées dans ce cadre, leur adéquation à l'analyse des éluats doit être vérifiée et justifiée par le laboratoire conduisant l'analyse. La raison de la divergence doit être indiquée dans le rapport d'essai.

Tableau 6 : Normes d'essai et limites de quantification minimales pour les analyses en contenu total

Paramètre	Limite de quantification minimale	Normes pour l'analyse des composés organiques	
		Norme d'essai à respecter	Norme d'essai alternative [15]
COT	1 000 mg/kg de matière sèche	NF EN 15936	NF ISO 10694 NF EN 17505
BTEX	Benzène : 0,05 mg/kg de matière sèche TEX : 0,1 mg/kg de matière sèche	NF EN ISO 22155 ou NF EN ISO 15009	-
PCB	0,01 mg/kg de matière sèche	NF EN ISO 18475	-
HC	25 mg/kg de matière sèche	NF EN 14039	NF EN ISO 16703
HAP	0,1 mg/kg de matière sèche	NF EN 17503	NF ISO 18287
Dioxines et furanes	1 ng I-$TEQ_{OMS,2005}$/kg de matière sèche	NF EN 1948	-

15. En cas d'utilisation de normes d'analyse alternatives, leur adéquation à l'analyse du matériau doit être vérifiée et justifiée par le laboratoire conduisant l'analyse. La raison de la divergence doit être indiquée dans le rapport d'essai.

2. PRINCIPES DE LA MODÉLISATION ENVIRONNEMENTALE

Les valeurs limites proposées dans le tableau 2 ont été déterminées sur la base de travaux de modélisation de l'impact potentiel sur les eaux souterraines d'ouvrages utilisant des matériaux alternatifs.

Ces travaux ont été menés dans le cadre de l'étude de l'acceptabilité environnementale de matériaux alternatifs en infrastructures linéaires de transport terrestre [2]. Les principes de la modélisation alors retenus, et rappelés au chapitre 2.1 de la présente annexe, restent pleinement applicables pour cadrer l'acceptabilité environnementale des ouvrages routiers et remblais techniques situés au sein des aménagements.

Pour les autres usages visés par le présent guide, il a été jugé plus pertinent d'étudier la manière dont pouvaient être utilisés les trois jeux de valeurs limites fixées pour les usages de matériaux alternatifs au sein d'ouvrages routiers et de remblais techniques plutôt que de déterminer trois autres nouveaux jeux de valeurs limites qui auraient complexifié singulièrement la gestion des lots de matériaux alternatifs sur les plateformes de recyclage. La manière dont ont été réalisées ces adaptations est détaillée aux chapitres 2.2 à 2.4 de la présente annexe.

2.1 - POUR LES OUVRAGES ROUTIERS ET REMBLAIS TECHNIQUES

L'objectif était de déterminer le relargage en sortie d'un ouvrage (terme source) permettant de respecter une qualité donnée des eaux souterraines en aval hydraulique de cet ouvrage (terme impact). Pour cela, une relation mathématique a été établie. Les modélisations réalisées font appel à des hypothèses qui ont été sélectionnées en raison de leur caractère raisonnablement majorant et en référence à celles utilisées pour la définition des critères d'admission des déchets dans les différentes catégories d'installations de stockage [11].

Deux scénarios-types d'ouvrage ont été définis en distinguant, d'une part, les remblais sous ouvrage, couches de forme et assises de chaussée ou d'accotement revêtus et d'autre part, les remblais techniques et remblais sous ouvrage, couches de forme et assises de chaussée ou d'accotement recouverts.

On citera parmi les hypothèses de calcul celles :

- d'un transfert de polluants dans les eaux souterraines au sein d'un milieu poreux ;
- d'une interaction nulle des polluants avec les sols traversés ;
- d'écoulements verticaux depuis la source (l'ouvrage) vers la cible (les eaux souterraines) ;
- de valeurs de pluie efficace moyennes pour le territoire métropolitain ;
- du respect de la qualité des eaux destinées à la consommation humaine.

Les principaux facteurs d'influence pris en compte, et pour lesquels des calculs de sensibilité ont été réalisés, sont les suivants :

- les dimensions de l'ouvrage ;
- le taux d'infiltration des eaux de pluie à travers la structure ;
- le taux d'infiltration des eaux de pluie à travers les sols environnants ;
- la présence d'un seul ouvrage ou de deux ouvrages proches.

Les autres paramètres hydrogéologiques de dimensionnement du modèle sont détaillés dans le rapport BRGM [12].

La modélisation du transfert conduit à des facteurs d'atténuation entre la source de polluants et le point de contrôle.

Ainsi, connaissant ces facteurs et en fixant la valeur de l'objectif de qualité des eaux à respecter pour un élément donné (en concentration), il est possible de déterminer la valeur en concentration de cet élément que l'ouvrage doit respecter. Par convention, on considère que cet élément est uniquement issu du matériau alternatif.

Les valeurs limites, exprimées en quantités relarguées cumulées, sont dérivées de ces concentrations. Pour cela, deux décisions ont été prises :

- l'une conservative en considérant, pour chaque élément, un relargage sous forme d'une concentration constante (décision qui englobe l'ensemble des comportements des éléments observés expérimentalement) ;
- l'autre plus conventionnelle d'exigence de limitation des quantités relarguées à un niveau égal à la moitié de celles obtenues, en considérant un relargage constant sur un horizon de temps donné, exprimé en termes d'exposition à l'eau par un ratio liquide/solide massique de 10. La prise en compte de cette décision a été toutefois limitée aux seuls éléments fortement mobiles (sels).

2.2 - POUR LES PARKINGS ET PLATEFORMES D'ACTIVITÉS ÉCONOMIQUES

Des modélisations complémentaires ont permis de déterminer la manière dont pouvaient être utilisés les jeux de valeurs limites déterminés pour les usages de matériaux alternatifs au sein d'ouvrages routiers et de remblais techniques pour encadrer les usages de matériaux alternatifs au sein de parkings et de plateformes d'activités économiques.

Deux limites de surface ont ainsi pu être fixées pour les usages d'au plus trois mètres de hauteur en remblai sous ouvrage, couche de forme et assise de parkings ou plateformes d'activités économiques revêtus :

- une première limite à 1 ha en dessous de laquelle l'acceptabilité environnementale est validée si les matériaux respectent les valeurs limites associées aux usages de type A1 ;
- une seconde limite à 10 ha en dessous de laquelle l'acceptabilité environnementale est validée si les matériaux respectent les valeurs limites associées aux usages de type A2.

Ces deux limites ont été arrêtées de manière à tenir compte de la possible additivité de projets valorisant des matériaux alternatifs similaires dans une même zone géographique.

2.3 - POUR LES USAGES EN MODELÉ PAYSAGER

Pour les ouvrages surfaciques de grandes dimensions, le facteur d'atténuation que les modélisations hydrodispersives permettent de mettre en évidence tend assez logiquement vers 1 lorsque la surface de ces aménagements augmente.

Il a donc été choisi d'exiger que les matériaux utilisés dans ces ouvrages respectent les valeurs limites associées aux usages de type A3, qui est le référentiel d'admission en installation de stockage de déchets inertes majoré de 25 %.

2.4 - POUR LES USAGES SOUS OU EN CONTRE-VOILE DES BÂTIMENTS

Pour les usages sous ou en contre-voile des bâtiments, il a été décidé d'exiger que les matériaux utilisés respectent les valeurs limites associées aux usages de type A1, et ce bien que l'exposition des matériaux alternatifs sous ou en contre-voile des bâtiments soit moins importante que dans les usages de type A1.

Ce choix est motivé par la volonté de ne pas démultiplier les référentiels de conformité environnementale et ainsi simplifier la gestion des stocks au niveau des plateformes de recyclage.

3. PRINCIPES DE L'ÉLABORATION DES CONCENTRATIONS LIMITES SANITAIRES

3.1 PRÉAMBULE

La présente annexe rappelle les lignes directrices et la méthodologie générale permettant de vérifier l'acceptabilité sanitaire au regard des scénarios d'usages concernés.

L'acceptabilité sanitaire est déterminée sur la base d'une démarche d'évaluation des risques sanitaires pour les populations (populations générales et/ou professionnels intervenant dans le périmètre des aménagements concernés, ci-après dénommés « professionnels ») mise en œuvre de manière générique. Les concentrations limites sanitaires sont obtenues par calculs inverses en fonction des scénarios d'usages et des gisements de matériaux alternatifs concernés. Elles portent sur le déchet, le matériau alternatif ou sur le matériau d'aménagement, ci-après dénommé le « matériau », selon l'option retenue du chapitre 2.1.3.2 du présent guide, et sont prises en considération pour fixer les valeurs limites sanitaires figurant dans les guides d'application.

La démarche d'évaluation des risques sanitaires est fondée sur les étapes suivantes : la sélection des substances d'intérêt, l'élaboration des schémas conceptuels, l'évaluation des expositions dont la modélisation des transferts de vapeurs et de particules issues du matériau, l'évaluation de la toxicologie, l'évaluation des risques comportant le choix de niveaux de risque limites et les calculs de concentrations limites d'un point de vue sanitaire (calcul inverse) dans le cas présent, l'analyse des incertitudes et études de sensibilité. Ces étapes structurent les sections de cette annexe.

Les approches adoptées font appel à des hypothèses sélectionnées en raison de leur caractère raisonnablement majorant.

Note : La méthodologie générale pour la détermination des concentrations limites sanitaires a été choisie en cohérence avec celle mise en œuvre dans le cadre du *Guide de valorisation hors site des terres excavées issues de sites et sols pollués dans des projets d'aménagement* [4].

Note : Dans l'hypothèse où les approches adoptées et/ou les paramètres d'entrée de l'évaluation sanitaire présentés ci-après ne permettent pas de justifier l'acceptabilité sanitaire du matériau étudié ou ne semblent pas adaptés, le présent guide méthodologique laisse la possibilité de justifier l'acceptabilité sanitaire du matériau sur la base d'une étude sanitaire spécifique.

Cette étude nécessite d'être validée par le Cerema en lien avec les organismes techniques compétents placés sous la tutelle du ministère chargé de l'environnement.

3.2 - SÉLECTION DES SUBSTANCES

Étant spécifique à chaque gisement, la liste des substances est établie dans le cadre de l'élaboration du guide d'application associé ou, lorsqu'il n'est pas envisagé de développer un guide d'application pour le gisement concerné, au sein de l'étude de l'acceptabilité environnementale et sanitaire diligentée par le producteur du déchet étudié ou l'un de ses détenteurs.

3.3 - SCHÉMAS CONCEPTUELS

Tenant compte des caractéristiques du matériau étudié, des caractéristiques des substances d'intérêt et des scénarios d'exposition, les voies d'exposition des personnes aux substances présentes dans ces matériaux sont reprises dans le tableau 7 ci-après.

Tableau 7 : Les différentes voies d'exposition potentielles

Cibles	Voies d'exposition Substances	Inhalation de vapeur dans l'air intérieur d'un bâtiment	Inhalation de vapeur dans l'air extérieur	Inhalation de particules dans l'air extérieur	Ingestion non intentionnelle de matériau
Population générale et/ou professionnels	Métaux et métalloïdes (hors mercure élémentaire)	Non	Non	Oui	Oui
	Substances organiques et mercure élémentaire (*)	Oui	Oui	Oui	Oui

(*) : choix de la voie d'exposition tenant compte de leur volatilité

Note : L'étude des risques sanitaires liés à l'inhalation de particules dans l'air extérieur et à l'ingestion non intentionnelle de matériau ne concerne que les matériaux d'aménagement non liés de type d/D avec d < 2 mm dès lors que ces derniers sont utilisés pour des usages de type A3.

3.4 - ÉVALUATION DES EXPOSITIONS

3.4.1 - MODÉLISATIONS DES TRANSFERTS DE VAPEUR ET DE PARTICULES

Il est rappelé en premier lieu que la sélection des modèles de transfert doit être adaptée aux spécificités du cas étudié (scénarios d'exposition et caractéristiques du matériau étudié).

3.4.1.1 - Modélisations du transfert de vapeur du matériau vers l'air extérieur

La modélisation des transferts de vapeurs vers l'air extérieur fait appel à des modèles classiques 1D analytiques (avec source infinie ou source finie) qui sont notamment les suivants : pour l'équilibre triphasique et le flux diffusif ([13], [14]) pour les coefficients de diffusion les équations de Millington et Quirk [15] repris dans [16] et Modul'ERS [19], et pour la dispersion atmosphérique dans l'air extérieur le modèle de type « boîte », repris dans [16] et dans Modul'ERS [19]. D'autres modèles au moins équivalents peuvent également être mis en œuvre.

Ces modélisations nécessitent différents types de paramètres d'entrée, associés aux données physico-chimiques des substances (portail substances chimiques – Ineris[16], bases de données : HSDB, IUCLID, etc.), aux caractéristiques physico-chimiques des matériaux en surface et aux épaisseurs considérées, ainsi qu'aux conditions de dispersion des vapeurs en extérieur.

16. https://substances.ineris.fr/

Les données d'entrée des modèles liées aux caractéristiques physico-chimiques du matériau étudié ainsi qu'aux scénarios d'usage visés seront arrêtées dans le cadre de l'élaboration des guides d'application associés ou, lorsqu'il n'est pas envisagé de développer un guide d'application pour le gisement concerné, au sein de l'étude de l'acceptabilité environnementale et sanitaire diligentée par le producteur du déchet étudié ou l'un de ses détenteurs.

En revanche, le tableau 8 fixe les valeurs de paramètres d'entrée des modélisations associées aux caractéristiques des matériaux de recouvrement ou de revêtement.

Tableau 8 : Caractéristiques des matériaux de recouvrement ou de revêtement

Paramètre	Valeur et unité		
Couche	Matériau naturel	Enrobé (bitume)	Gravier sous enrobé
Matériau	Sable limoneux	Enrobé parking	Gravier sec
Épaisseur	0,3 m	0,04 m	0,4 m
Porosité	0,4	0,03	0,2
Fraction volumique d'eau	0,18	0	0

De même, les conditions de dispersion des vapeurs dans l'air extérieur sont fixées dans le tableau 9 ci-après.

Tableau 9 : Paramètres des conditions de dispersion des vapeurs dans l'air extérieur

Paramètre	Valeur et unité (Référence)
Longueur de la zone d'émission dans le sens du vent (en général la diagonale de la zone concernée)	150 m (usages des types A1, A2, A5a et A5b) 500 m (usages des type A3 et A4)
Hauteur de mélange (en général la hauteur de respiration des individus)	période adolescent et adulte : 1,5 m période enfant : 1 m [31]
Vitesse du vent	3 m/s (vent faible)

3.4.1.2 - Modélisations du transfert de vapeur du matériau vers l'air intérieur des bâtiments

La modélisation des transferts de vapeurs depuis une source dans le sol vers l'air intérieur fait appel à des modèles classiques 1D analytiques (avec source infinie ou source finie) qui sont notamment les suivants :

- pour l'équilibre triphasique et le flux diffusif ([13], [14]) ;
- pour les coefficients de diffusion les équations de Millington et Quirk [15] repris dans [16] ;
- les équations de Johnson & Ettinger [17], reprises par l'US EPA [18] et dans Modul'ERS [19] ;
- les équations développées par le RIVM[17] [20], qui ont fait l'objet de compléments [21] (utilisées notamment dans les modèles CSOIL et VOLASOIL) et qui avaient été adaptées par Hazebrouck & al. [22] dans un modèle pour plusieurs couches de matériau[18] et proposant également une modélisation avec une source finie décroissante (épuisement progressif de la source par le haut) [23], et reprises pour partie dans [16] et Modul'ERS [19].

17. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (National Institute for Public Health and the Environment).
18. À noter que les équations développées par le RIVM par Waitz [20], pour une seule couche de matériau entre la source et l'espace intérieur, ont été adaptées dans un modèle pour plusieurs couches de matériau par Hazebrouck et al. [22]. Un modèle multicouche a également été intégré aux modèles développés par le RIVM et présentés par Bakker et al. [21].

En ce qui concerne le transfert entre un sous-sol et le rez-de-chaussée, au regard des différentes approches disponibles dont des modélisations ou des données issues de la littérature, avec chacune des limites, la valeur d'un coefficient de transfert et plus particulièrement le 95e centile de la distribution de Fast et al. citée dans [24] est mentionnée.

D'autres modèles au moins équivalents peuvent également être mis en œuvre.

Ces modélisations nécessitent différents types de paramètres d'entrée, associés aux données physico-chimiques des substances (portail substances chimiques – Ineris[19], bases de données : HSDB, IUCLID, etc.), aux caractéristiques physico-chimiques des matériaux (dalle de fondation et couche de forme) et aux épaisseurs considérées, ainsi qu'aux conditions de pression, de ventilation du bâtiment.

Les données d'entrée des modèles liées aux caractéristiques physico-chimiques du matériau étudié ainsi qu'aux scénarios d'usage visés seront arrêtées dans le cadre de l'élaboration des guides d'application associé ou, lorsqu'il n'est pas envisagé de développer un guide d'application pour le gisement concerné, au sein de l'étude de l'acceptabilité environnementale et sanitaire diligentée par le producteur du déchet étudié ou l'un de ses détenteurs.

Par contre, le tableau 10 fixe les valeurs de paramètres d'entrée des modélisations associées aux caractéristiques des matériaux de la dalle de fondation du bâtiment ou de la couche de forme.

Tableau 10 : Caractéristiques des matériaux de la dalle de fondation du bâtiment et de la couche de forme

Paramètres (unité)		
Couche	Dalle de fondation	Couche de forme sous la dalle de fondation
Matériau	Béton de qualité normale	Gravier sec
Épaisseur (m)	0,15	0,15
Porosité (-)	0,02	0,2
Fraction volumique d'eau (-)	0	0
Conductivité hydraulique (m/s)	Non concerné	0,01
Conductivité à l'air (m3/m/Pa/s)	1,1E-6	7,6E-5
Taux de fissuration de la dalle de fondation (fraction d'ouvertures par unité de surface)[20] (-)	1,0E-5 [21]	Non concerné
Perméabilité à l'air (m^2)	1,9E-11 [21]	1,3E-09 [21]

19. https://substances.ineris.fr/
20. La valeur mentionnée est associée au modèle repris dans [21] et [22] avec comme conceptualisation de la dalle : fissures uniformément réparties. À titre informatif d'autres valeurs de paramètres des caractéristiques de la dalle de fondation au regard des modèles utilisés et de sa conceptualisation de la dalle en béton sont également mentionnées dans [25].

De même le tableau 11 ci-après fixe les valeurs de paramètres d'entrée des modélisations de vapeur vers l'air intérieur associées aux conditions de pression[21] et de ventilation du bâtiment[22].

Tableau 11 : Paramètres des conditions de pression, de ventilation du bâtiment

Paramètre et unité	Valeur
Différence de pression (Pa)	**Bâtiment de plain-pied sans vide sanitaire ni sous-sol** : 4 ([18], [19], [20], [21]) **Bâtiment avec vide sanitaire ([20], [21], [24])** : • différence de pression entre l'air du vide sanitaire et l'air du sol : 2 • différence de pression entre l'air intérieur et l'air du vide sanitaire : 2
Hauteur sous plafond de locaux (m)	**Pièces à vivre** : 2,5 **Pièces à usages de bureaux** : 2,5 **Local industriel ou commercial** : 3,5
Renouvellement d'air (h^{-1})	**Pièce à vivre (habitat)** : 0,5 ([26], [27]) **Tertiaire et établissements recevant du public** : cf. renouvellements d'air minimaux du règlement sanitaire départemental type (article 64.1) non repris ici en détail **Bureaux ou locaux sans travail physique** : 1,07 ([27], [28]) **Parcs de stationnement** : valeur générique à fixer dans le cadre de l'élaboration des guides d'application, selon [26] **Vide sanitaire**[23] : 1,25 [24]

3.4.1.3 - Modélisation du transfert dans l'air de l'envol de particules issues du matériau

La modélisation des concentrations des substances dans les particules de l'air fait appel à une approche classique notamment celle proposée par le RIVM [29][24]. D'autres modèles au moins équivalents peuvent également être mis en œuvre.

21. Des valeurs des paramètres conservatoires sont reprises dans le tableau.
22. Les valeurs correspondent aux renouvellements d'air réglementaires, des valeurs conservatoires sont reprises dans le tableau.
23. La valeur conservatoire est reprise dans le tableau parmi [24] et [25].
24. Les valeurs de paramètres d'entrée sont proposées par ces auteurs, comme pour la concentration de particules en suspension, la fraction de sol dans les particules en suspension, le sol étant ici assimilé au matériau étudié.

3.4.2 - Calcul des expositions et paramètres d'exposition

Les formules de calcul des expositions pour la voie « ingestion non intentionnelle de matériau » et la voie « inhalation de vapeur et de particules issues du matériau », et les paramètres associés sont repris dans le tableau 12 ci-après.

Tableau 12 : Calcul des niveaux d'exposition (ingestion non intentionnelle et inhalation)

Voie orale : dose journalière d'exposition	Valeur
$DJE = \frac{C \times Q \times F}{P} \times \frac{T}{T_m} \times 10^{-6}$	$CI = C \times t \times F \times \frac{T}{T_m}$
DJE : dose journalière d'exposition (mg/(kg.j))	CI : concentration inhalée (mg/m³)
C : concentration totale de la substance dans le matériau étudié (mg/kg)	C : concentration de la substance dans l'air (vapeur ou particulaire) (mg/m³)
Q : quantité ingérée de matériau par jour (mg/j)	t : fraction du temps d'exposition à la concentration C pendant une journée (nombre d'heures d'exposition/24 heures)
P : poids corporel de la cible (kg)	-
F : fréquence annuelle d'exposition (nombre de jours d'exposition annuelle/365 j)	
T : durée de la période d'exposition (années)	
T_m : durée de la période sur laquelle l'exposition est moyennée (années)[25]	

Nota :
- *10^{-6} : facteur de conversion en raison de termes exprimés en mg ou en kg ;*
- *dans le cas présent, la biodisponibilité de l'élément dans le matériau est par défaut de 100 % (prise en compte de la concentration totale)[26]*

25. Pour
    - les substances à effets à seuil :Tm = T (Tm étant égal à T, les valeurs de T et Tm n'ont pas d'impact sur les calculs des concentrations limites sanitaires dans les matériaux) ;
    - les substances à effets sans seuil : Tm = 70 années (vie entière) (les valeurs T et Tm interviennent de manière proportionnelle dans les calculs des concentrations limites sanitaires dans les matériaux).
26. La caractérisation de bioaccessibilité orale des métaux et métalloïdes dans les sols (test normalisé UBM (Unified Bioaccessibility Method), ISO 17924:2019) permet d'estimer la biodisponibilité, et ainsi d'ajuster la dose d'exposition pour As, Cd et Pb (cf. validation in vivo/in vitro pour ces substances) suivant les modalités explicitées dans le rapport [30].

Les paramètres d'exposition et les valeurs associées sont fixés dans le tableau 13 ci-après.

Tableau 13 : Paramètres d'exposition des populations

Paramètres	Valeurs et unité (Référence)
Durée d'exposition : nombre d'années d'exposition	• Professionnels : durée de travail en France : 42 années • Population générale : 6 années pour la période enfant et 64 années pour la période adolescent et adulte
Durée annuelle d'exposition : nombre de jours d'exposition	• Professionnels : durée annuelle de travail en France : 220 jours • Population générale : enfant et adulte : 365 jours
Durée journalière d'exposition en extérieur (voie inhalation de vapeur et inhalation de particules issues de l'envol) : nombre d'heures d'exposition par jour	Usage tertiaire ou industriel • Professionnels (employé adulte (100 % du temps dehors) : durée de travail en France : 8 h/j en extérieur) Récréatif de plein air • Population générale : - enfant : en été : 8 h/j - 7j/7j et en hiver : 1 h/j - 7j/7j - adulte : en été : 8 h/j - 7j/7j et en hiver : 1 h/j - 7j/7j
Durée journalière d'exposition à l'intérieur d'un bâtiment (voie inhalation de vapeur) : nombre d'heures d'exposition par jour	Usage résidentiel (habitat collectif)[27] • Population générale : - enfant : en été : 16 h/j - 7j/7j et en hiver : 23 h/j - 7j/7j - adulte (période adolescent et adulte) : en été : 16 h/j - 7j/7j, en hiver : 23 h/j - 7j/7j Usage tertiaire ou industriel Professionnels (employé adulte (100 % du temps dans le bâtiment) : durée de travail en France : 8 h/j en intérieur)
Poids corporel (kg)	• Professionnels : 70 kg (dans intervalle des valeurs [31]) • Population générale : période enfant : 15 kg, période adolescent et adulte : 65 kg (dans intervalle de valeurs [31])
Hauteur de respiration (m)	• Professionnels : 1,5 m [31] • Population générale : période enfant : 1 m, période adolescent et adulte : 1,5 m [31]
Quantité ingérée de matériau (mg/j) (si matériau non lié de type d/D avec d < 2 mm))	• Professionnels : 20 mg/j (valeur centrale adulte, [31]) • Population générale : période enfant : 24 mg/j (valeur médiane, [30]), période adolescent et adulte : 20 mg/j (valeur centrale, [31])

27. Dans le cadre d'une approche conservatoire, il a été considéré que durant la période enfant, l'enfant ne fréquentait pas de crèche, et pendant la période adulte (période adolescent et adulte), la personne était sans emploi.

3.5 - ÉVALUATION DE LA TOXICOLOGIE

La démarche de choix des valeurs toxicologiques de référence (VTR) est conduite conformément aux instructions nationales en vigueur. En date de rédaction du présent guide, il s'agit de la note d'information N°DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014 relative aux modalités de sélection des substances chimiques et de choix des valeurs toxicologiques de référence pour mener les évaluations des risques sanitaires dans le cadre des études d'impact et de la gestion des sites et sols pollués [32].

3.6 - ÉVALUATION DES RISQUES

3.6.1 - CHOIX DES « NIVEAUX DE RISQUE LIMITES »

Les « niveaux de risque limites » sont fixés suivant la même logique que dans la démarche d'interprétation de l'état des milieux (IEM) ([33], [34]), également retenus dans le cadre du *Guide de valorisation hors site des terres excavées issues de sites et sols pollués dans des projets d'aménagement* [4].

Les « niveaux de risque limites » retenus sont :

- pour le quotient de danger (QD)[28], la valeur de 0,2 ;
- pour l'excès de risque individuel (ERI)[29], la valeur de 10^{-6}.

3.6.2 - CALCULS DES CONCENTRATIONS LIMITES SANITAIRES

Les concentrations limites sanitaires sont obtenues par calcul inverse (à partir des niveaux de risque retenus et du facteur de proportionnalité entre la concentration dans le matériau étudié et ces niveaux de risque).

Pour chaque substance et chacune des voies d'exposition[30], ces concentrations limites sanitaires sont calculées séparément pour des effets à seuil et sans seuil. La plus basse de ces deux concentrations est prise en considération pour fixer la concentration limite associée à chaque substance d'intérêt.

Pour les substances disposant de valeurs réglementaires ou à portée réglementaire, mises en place par les pouvoirs publics selon le contexte, les usages et les milieux (pour l'air extérieur – vapeur et particulaire – et pour l'air intérieur – vapeur), il est nécessaire de s'assurer que les concentrations modélisées dans les milieux d'exposition respectent ces valeurs pour les milieux considérés.

3.7 - ANALYSE DES INCERTITUDES ET ÉTUDES DE SENSIBILITÉ

L'élaboration des concentrations limites sanitaires comporte une analyse de la sensibilité des concentrations calculées vis-à-vis de la variabilité des paramètres d'exposition, des modélisations et des valeurs des paramètres associés, et sur les incertitudes résiduelles qui en résultent [35].

28. Effets à seuil.
29. Effets sans seuil.
30. Ingestion, inhalation de vapeur, inhalation de particules.

4. BIBLIOGRAPHIE

1. Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, Bilan 2020 de la production de déchets en France, 2022.

2. Cerema, *Valorisation de matériaux alternatifs en infrastructures linéaires de transport terrestre. Étude environnementale et sanitaire*, 2025.

3. NF EN 12920+A1 : Caractérisation des déchets - Méthodologie pour la détermination du comportement à la lixiviation d'un déchet dans des conditions spécifiées, novembre 2008.

4. MEEM-BRGM-Ineris, *Guide de valorisation hors site des terres excavées issues de sites et sols pollués dans des projets d'aménagement*, 2024.

5. MEEM-BRGM, *Guide de valorisation hors site des terres excavées non issues de sites et sols pollués dans des projets d'aménagement*, 2024.

6. Ineris, *Classification règlementaire des déchets. Guide d'application pour la caractérisation en dangerosité,* 2024.

7. NF EN 12457-2 : *Caractérisation des déchets - Lixiviation - Essai de conformité pour lixiviation des déchets fragmentés et des boues - Partie 2 : Essai en bâchée unique avec un rapport liquide-solide de 10 l/kg et une granularité inférieure à 4 mm*, décembre 2002.

8. NF EN 12457-4 : *Caractérisation des déchets - Lixiviation - Essai de conformité pour lixiviation des déchets fragmentés et des boues - Partie 4 : Essai en bâchée unique avec un rapport liquide-solide de 10 l/kg et une granularité inférieure à 10 mm,* décembre 2002.

9. NF EN 14405 : *Caractérisation des déchets - Essais de comportement à la lixiviation - Essai de percolation à écoulement ascendant (dans des conditions spécifiées)*, avril 2017.

10. NF EN 16637-3 : *Produits de construction - Évaluation du relargage de substances dangereuses - Partie 3 : Essai horizontal de percolation à écoulement ascendant*, novembre 2023.

11. Décision 2003/33/CE du 19/12/2002 établissant des critères et des procédures d'admission des déchets dans les décharges, conformément à l'article 16 et à l'annexe II de la directive 1999/31/CE, JOCE du 16/01/2003.

12. BRGM, *Modélisation des impacts liés à l'utilisation de matériaux alternatifs ou hors spécifications en technique routière*, 2009, Référence RP-57322-FR.

13. Jury W., Spencer W., Farmer W., "Use of model for assessing relative volatility, mobility, and persistence of pesticides and other trace organics in soil systems, Hazard assessment of Chemicals : Current Development", 1983, vol 2, pp.1-43.
https://www.ars.usda.gov/arsuserfiles/20361500/pdf_pubs/P861.pdf

14. Jury W., Russo D., Streile G., and El Abd H., "Evaluation of volatilization by organic chemicals residing below the soil surface, Water Resources Research", 1990, vol. 26 (n°1), pp.13-20.
https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1029/WR026i001p00013

15. Millington R. J., Quirk J. M., "Permeability of porous solids", 1961, Trans. Faraday Soc. 57, pp.1200-1207.
https://www.scilit.com/publications/fc23c068d6aeaf3ee2917dd4848c1de6

16. Ineris, *Jeux d'équations pour la modélisation des expositions liées à la contamination d'un sol ou aux émissions d'une installation industrielle*, 2010, DRC-08-94882-16675C.
https://www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/Documents/drc-08-94882-16675c-vf2-1411028462_0.pdf

17. Johnson Paul C. and Ettinger Robert A.,"Heuristic model for predicting the intrusion rate of contaminant vapors into buildings", 1991, Environmental Science and Technology, vol. 25, pp.1445-1452.
https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es00020a013

18. US EPA, *User's Guide for evaluating subsurface vapor intrusion into buildings*, 2004.
https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-11/documents/2004_0222_3phase_users_guide.pdf

19. Ineris, Modul'ERS.
https://www.ineris.fr/fr/recherche-appui/risques-chroniques/logiciel-modulers

20. Waitz M.F.W., J.I. Freijer, P. Kreule, F.A. Swartjes, "The VOLASOIL risk assessment model based on CSOIL for soils contaminated with volatile compounds", 1996, RIVM, report 75810014.
http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/715810014.pdf

21. Bakker J., Lijzen J.P.A., Van Wijnen H.J., "Site-specific risk assessment of soil contamination with volatile compounds", 2008, RIVM, report 711701049/2008.
https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/711701049.pdf

22. Hazebrouck B., Hulot C., Gay G., "Vapor emissions from contaminated soils into buildings: developments of the VOLASOIL model for a multilayer soil, 2005, ConSoil 2005, proceedings of the 9th international FZK/TNO conference on soil-water systems", pp.3-7.
https://www.ineris.fr/fr/vapor-emissions-contaminated-soils-buildings-development-volasoilmodel-multilayer-soil

23. Hulot C., Gay G., Hazebrouck B., Thiam A. Marot F., "Transfer of volatile compounds from soil: comparison between predictions and field measurements with different models; development of the VOLASOIL model for a depleting source", 2010, ConSoil 2010.
https://ineris.hal.science/ineris-00973586v1/document

24. Otte P.F., Lijzen J.P.A., Otte J.G., Swartjes F.A., Versluijs C.W., "Evaluation and revision of the CSOIL parameter set", 2001, RIVM, report 711701021.
https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/711701021.pdf

25. Traverse S., Alem C., Casal A., Cessac C., Collignan B., Côme J.M., Dabonneville M., Desrousseaux M., Grasset M., Hulot C., Paccoud C., Powaga E., Raoust M., Projet BATICOV, "Mesures constructives vis-à-vis des pollutions volatiles du sol. État des lieux et axes d'amélioration de la programmation à l'exploitation des bâtiments", 2017, Collection Expertise ADEME, novembre 2017.

26. Arrêté du 31 janvier 1986, modifié en 2006.

27. BRGM, *Guide relatif aux mesures constructives utilisables dans le domaine des SSP*, 2014, BRGM/RP-63675-FR.

28. Article R.232-12-26 du Code du travail.

29. Van Breemen P.M.F, Quik J., Brand E., Otte P.F., Wintersen A.M., Swartjes F.A., "CSOIL 2020 : Exposure model for human health risk assessment through contaminated soil. Technical description", 2020, RIVM letter report 2020-0165.
https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2020-0165.pdf

30. InVS-Ineris, *Quantités de terre et poussières ingérées par un enfant de moins de 6 ans et bioaccessibilité des polluants. État des connaissances et propositions. Guide pratique*, 2012 (en cours d'actualisation).

31. Ineris, *Paramètres d'exposition de l'Homme du logiciel MODUL'ERS*, 2017, DRC-14-141968-11173C.

32. DGS, Note d'information du ministère chargé de la santé n°DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31/10/2014 relative aux modalités de sélection des substances chimiques et de choix des valeurs toxicologiques de référence pour mener les évaluations des risques.

33. MTES, "La démarche d'interprétation des milieux", du 8 février 2007.

34. MTES, "Méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués", du 19 avril 2017.

35. Ineris, *Prise en compte des incertitudes dans le cadre de dossiers conduits en contexte de sites et sols pollués*, 2020, Ineris-20-177730-1814933-1.0.

5. SIGLES

Afoco Association française des opérateurs sur coproduits industriels

AFPC Association française des producteurs de cendres

Amorce Association nationale des collectivités territoriales et de leurs partenaires pour la gestion de l'énergie, des déchets, de l'eau et de l'assainissement, de la propreté, en faveur de la transition écologique et de la protection du climat

ANGM Association nationale pour l'utilisation des graves de mâchefer

BRGM Bureau de recherches géologiques et minières

Cerema Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement

Cetim Centre technique des industries mécaniques

CTPL Centre technique et de promotion des laitiers sidérurgiques

DGPR Direction générale de la prévention des risques

Federec Fédération professionnelle des entreprises du recyclage

FNTP Fédération nationale des travaux publics

Ineris Institut national de l'environnement industriel et des risques

SEDDRe Syndicat des entreprises de déconstruction, dépollution et recyclage

Sétra Services d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements

SVDU Syndicat national du traitement et de la valorisation des déchets urbains

UNEV Union nationale des entreprises de valorisation

UNPG Union nationale des producteurs de granulats

UPDS Union des professionnels de la dépollution des sites

Recycling of alternative materials in development projects

Environmental and health study 2025 edition

The construction, public works and industrial sectors generate about 200 million tonnes of non-hazardous mineral waste per year.

Development operations are an ideal recycling channel for most of this mineral waste - or "alternative materials - to reduce the negative impacts linked to the use of natural resources and to greenhouse gas emissions.

However, as the precautions to be taken before using alternative materials extend beyond checking their physical, mechanical and/or geotechnical features, this methodological guide proposes an approach for studying their environmental and health acceptability whenever they are intended for use in development projects.

The guide mainly targets public works professionals and industrial manufacturers seeking to recycle the waste they possess or produce.

Aprovechamiento de materiales alternativos en proyectos de acondicionamiento

Estudio medioambiental y sanitario
Edición 2025

El sector de la construcción y las obras públicas y la industria generan cada año unos 200 millones de toneladas de residuos minerales no peligrosos.

Las operaciones de acondicionamiento son un ámbito adecuado para aprovechar la mayor parte de esos residuos minerales, convertidos en un «material alternativo» que permite reducir el impacto asociado al uso de recursos naturales y las emisiones de gases de efecto invernadero.

Sin embargo, puesto que las precauciones que deben tomarse antes de utilizar materiales alternativos no pueden limitarse únicamente a comprobar sus características físicas, mecánicas o geotécnicas, esta guía metodológica propone un enfoque para estudiar su aceptabilidad ambiental y sanitaria cuando vayan a utilizarse en proyectos de acondicionamiento.

La guía va dirigida principalmente a los profesionales de las obras públicas y a los industriales que deseen aprovechar los residuos que poseen o producen.

AGIR POUR DES TERRITOIRES ADAPTÉS AU DÉFI CLIMATIQUE

Le Cerema, référent public en aménagement, accompagne l'État, les collectivités et les entreprises pour adapter les territoires au changement climatique.

Il joue un rôle clé dans l'élaboration et la mise en oeuvre de politiques publiques nationales et de projets territoriaux adaptés au climat de demain dans 6 domaines d'activité : aménagement et stratégies territoriales, bâtiment, mobilités, infrastructures de transport, environnement et risques, mer et littoral.

Avec des équipes multidisciplinaires et 27 implantations sur les territoires de l'Hexagone et des Outre-mer, le Cerema dispose d'une approche globale pour conseiller, innover et fédérer.

Centre de ressources national et public, il produit de nombreuses connaissances et études liées à ses activités. Il les diffuse par le biais de publications d'ouvrages, de formations et de journées techniques. Toutes ces données publiques sont en accès libre, pour soutenir l'innovation et les bonnes pratiques afin d'adapter les territoires au défi climatique.

Le Cerema relève des ministères chargés de l'Aménagement du territoire et de la Transition écologique.

© 2025 - Cerema

Toute reproduction intégrale ou partielle, faite sans le consentement du Cerema est illicite (article L. 122-4 du Code de la propriété intellectuelle). Cette reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et L. 335-3 du CPI.

Cet ouvrage a été imprimé sur du papier issu de forêts gérées durablement (norme PEFC) et fabriqué proprement (norme ECF). L'imprimerie Dupliprint est une installation classée pour la protection de l'environnement et respecte les directives européennes en vigueur relatives à l'utilisation d'encres végétales, le recyclage des rognures de papier, le traitement des déchets dangereux par des filières agréées et la réduction des émissions de COV.

Coordination : Direction de la Stratégie et de la Communication / Pôle éditions
Conception de la maquette graphique : Farénis
Mise en page : www.laurentmathieu.fr
Impression : Dupliprint – 1 rue du Docteur Sauvé – 53100 Mayenne
Couverture : Vue aérienne d'un entrepôt de marchandises. (Photo : © iStock.com/jackaldu)
Achevé d'imprimer : décembre 2025
Dépôt légal : décembre 2025
ISBN : 978-2-37180-730-3 (pdf) - 978-2-37180-729-7 (papier) - ISSN : 2276-0164

Éditions du Cerema
Siège social : 2 rue Antoine Charial – CS 33 927 – 69426 Lyon Cedex 03
cerema.fr

VALORISATION DE MATÉRIAUX ALTERNATIFS DANS LES AMÉNAGEMENTS

ÉTUDE ENVIRONNEMENTALE ET SANITAIRE

Le secteur du bâtiment et des travaux publics et celui de l'industrie génèrent chaque année environ 200 millions de tonnes de déchets minéraux non dangereux.

Les opérations d'aménagement constituent une filière de valorisation adaptée pour la plupart de ces déchets minéraux, devenus « matériaux alternatifs », permettant de réduire les incidences liées à l'utilisation des ressources naturelles et à l'émission de gaz à effet de serre.

Toutefois, les précautions préalables au recours à des matériaux alternatifs ne pouvant se limiter à la seule vérification de leurs caractéristiques physiques, mécaniques et/ou géotechniques, le présent guide méthodologique propose une démarche pour l'étude de leur acceptabilité environnementale et sanitaire lorsqu'ils sont destinés à être utilisés dans des projets d'aménagement.

Il s'adresse principalement aux professionnels des travaux publics et aux industriels qui souhaitent valoriser les déchets qu'ils détiennent ou qu'ils produisent.

Environnement & risques

AMÉNAGEMENT & STRATÉGIES TERRITORIALES I BÂTIMENT I MOBILITÉS I INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT I **ENVIRONNEMENT & RISQUES** I MER & LITTORAL

Cerema
CLIMAT & TERRITOIRES DE DEMAIN

cerema.fr
AGIR POUR DES TERRITOIRES ADAPTÉS AU DÉFI CLIMATIQUE
Siège social : 2 rue Antoine Charial – CS 33 927 – 69426 Lyon Cedex 03.

ISSN : 2276-0164
ISBN : 978-2-37180-730-3

9 782371 807303