

# BÉTON INVISIBLE

Analyse Quantitative de l'Infrastructure Souterraine  
de Protection Civile en Suisse

*Volumes, Masses, Coûts et Empreinte Carbone (1963–2026)*

Tanguy Caversaccio<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> SAGA Architecture, Lausanne/Basel

<sup>2</sup> ETH Zurich, Institute for the History and Theory of Architecture (gta)

ITAP 2084

Zurich, March 2026

Édition révisée 2026 | Document académique

## Résumé

Cet article présente une analyse quantitative rigoureuse de l'infrastructure souterraine de protection civile en Suisse, une infrastructure unique au monde en termes de couverture populationnelle et de sophistication technique. En utilisant trois méthodes de calcul indépendantes — une approche géométrique bottom-up, une validation par coûts historiques, et une analyse de fractions matérielles — nous estimons que le parc national de 364'497 abris contient entre 8,95 et 13,4 millions de mètres cubes de béton armé, équivalent à 21,5 à 32,2 millions de tonnes. Cette masse représente 1,5 à 2,2 fois le volume de la Grande Dixence et 2,2 à 3,3 fois celui du tunnel de base du Gotthard.

L'empreinte carbone de cette infrastructure varie de 1,8 à 2,7 millions de tonnes de CO<sub>2</sub>, soit 60 à 90% des émissions annuelles du secteur cimentier suisse. Les coûts historiques cumulés depuis 1963 dépassent CHF 12 milliards, avec des dépenses de modernisation supplémentaires (ventilation, portes blindées) projetées à CHF 1,5 milliard entre 2025 et 2040. Ce document analyse en détail la méthodologie, présente les données quantitatives officielles de l'OFPP, contextualise cette infrastructure par rapport aux références internationales, et expose les enjeux architecturaux, environnementaux et politiques d'une préparation civile devenue invisible mais omniprésente.

**Mots-clés:** Protection civile suisse, abris nucléaires, béton armé, infrastructure souterraine, empreinte carbone, analyse quantitative, histoire de la technologie, Sonderfall suisse

## Abstract

This article presents a rigorous quantitative analysis of Switzerland's unique civil defense shelter infrastructure, unparalleled globally in population coverage and technical sophistication. Using three independent calculation methods — geometric bottom-up approach, historical cost validation, and material fraction analysis — we estimate that the national inventory of 364,497 shelters contains between 8.95 and 13.4 million cubic meters of reinforced concrete, equivalent to 21.5 to 32.2 million tonnes. This mass represents 1.5 to 2.2 times the volume of Grande Dixence dam and 2.2 to 3.3 times the Gotthard Base Tunnel.

The infrastructure's carbon footprint ranges from 1.8 to 2.7 million tonnes of CO<sub>2</sub>, or 60 to 90% of Switzerland's annual cement sector emissions. Historical costs since 1963 exceed CHF 12 billion, with additional modernization expenses (ventilation, blast doors) projected at CHF 1.5 billion through 2040. This document details the methodology, presents official OFPP statistics, contextualizes this infrastructure against international references, and exposes the architectural, environmental, and political stakes of civil preparedness that has become invisible yet ubiquitous.

**Keywords:** Swiss civil defense, nuclear shelters, reinforced concrete, underground infrastructure, carbon footprint, quantitative analysis, history of technology, Swiss Sonderfall

# Table des matières

1. Introduction .....	5
2. Cadre juridique et normatif .....	6
3. Méthodologie .....	8
4. Données quantitatives .....	11
4.1 Parc d'abris national .....	11
4.2 Volume de béton .....	12
4.3 Masse d'acier d'armature .....	14
4.4 Coûts historiques et projections .....	15
4.5 Empreinte carbone .....	16
5. Analyse comparative .....	17
6. Discussion .....	19
7. Conclusion .....	21
Bibliographie .....	23
Annexe A. Tables de calcul détaillé .....	25
Annexe B. Paramètres d'analyse de sensibilité .....	26

# 1. Introduction

L'adoption de la Loi fédérale sur la protection de la population et la protection civile (LPPCi) le 4 décembre 1963, entrée en vigueur le 1<sup>er</sup> janvier 1964, a institué en Suisse une obligation unique au monde : chaque nouvellement construite habitation doit inclure un abri de protection civile dimensionné pour ses occupants. Cette obligation, née dans le contexte de la Guerre froide et de l'escalade nucléaire, a créé au cours des six décennies suivantes une infrastructure souterraine d'une ampleur sans précédent, invisible aux regards mais omniprésente sous le territoire suisse.

Selon l'inventaire officiel de l'Office fédéral de la protection de la population (OFPP, ancien BABS), en fin 2022 la Suisse dénombrait exactement 364'497 abris de protection civile, offrant 8'951'918 places protégées. Rapportée à une population d'environ 8,7 millions d'habitants, cette couverture dépasse 100% et représente une capacité de protection incomparable : aucun autre pays au monde ne dispose d'une telle infrastructure dédiée.

Or, malgré l'importance de cette infrastructure, aucune étude quantitative globale n'a été menée pour évaluer la masse totale de béton armé utilisée, l'empreinte carbone cumulée, ou la comparaison avec d'autres monuments d'ingénierie civile. Cet article comble cette lacune en proposant une méthodologie rigoureuse, fondée sur trois approches indépendantes, pour estimer le volume et la masse de béton, ainsi que l'impact environnemental associé.

La pertinence de cette analyse réside en plusieurs dimensions. D'abord, une dimension historique : comprendre l'ampleur matérielle de la préparation civile suisse permet de contextualiser un aspect méconnu de la Sonderfall suisse (exception suisse) et de l'architecture politique de la neutralité durant la Guerre froide. Deuxièmement, une dimension environnementale : l'empreinte carbone de cette infrastructure représente potentiellement une fraction significative des émissions cumulées du secteur cimentier suisse, ce qui pose question quant aux enjeux de durabilité et de décarbonation. Troisièmement, une dimension architectural : les abris constituent un type de programme architectural unique, hybride entre l'infrastructure civile et le bâtiment privé, méritant une étude approfondie de ses implications spatiales et techniques.

## 2. Cadre juridique et normatif

### 2.1 Fondement légal et évolution historique

La Loi fédérale sur la protection de la population et la protection civile (LPPCi, RS 520.1), adoptée le 4 décembre 1963 et entrée en vigueur le 1<sup>er</sup> janvier 1964, constitue le fondement juridique de l'obligation d'abri en Suisse. Cette législation, adoptée lors du paroxysme de la Guerre froide, un an après la Crise des fusées de Cuba (octobre 1962) et dans un contexte où la doctrine militaire suisse envisageait sérieusement un scénario de conflit nucléaire européen, visait à garantir la survie d'une fraction maximale de la population civile en cas de guerre nucléaire.

L'Ordonnance sur la protection civile (OPCi, RS 520.13), révisée à plusieurs reprises (notamment en 2012), précise les modalités d'application. L'article 70, paragraphe 1 énumère les exigences techniques minimales : surface minimale de 1 m<sup>2</sup> par place protégée, volume minimum de 2,5 m<sup>3</sup> par place (incluant les espaces de ventilation et d'hygiène), et dimensionnement structural pour résister à une charge de 100 kN/m<sup>2</sup> (représentant approximativement l'onde de choc d'une explosion nucléaire aérienne à distance méso-scale).

### 2.2 Directives techniques : TWP et TWK

Les Instructions techniques pour la construction d'abris obligatoires, initialement désignées TWP 170.8 (1984) et ultérieurement reformulées comme Technische Weisungen für den Bau privater Schutzräume (TWK 2017), établissent les normes de construction détaillées. Ces documents spécifient :

- Épaisseur minimale des murs : 25-30 cm de béton armé (pour les parois contre terre ou autres espaces)
- Épaisseur minimale de la dalle plafond : 30 cm de béton armé
- Épaisseur minimale de la dalle de fondation : 20 cm
- Classe de résistance du béton : C25/30 minimum (plus récemment C30/37)
- Acier d'armature : B500B, conformément aux normes SIA
- Portes blindées : dimensionnées pour résister à des pressions de blast et équipées de mécanismes d'étanchéité

Ces spécifications techniques ont évolué au fil du temps, notamment suivant l'amélioration des méthodologies de calcul des charges sismiques et de blast. Les normes SIA 261:2020 (Actions sur les structures porteuses) et SIA 262 (Construction en béton) fournissent le cadre de référence structural, en ligne avec les pratiques de génie civil suisse et les standards Eurocode adaptés au contexte helvétique.

### 2.3 Obligation et applicabilité

L'obligation d'abri s'applique à tous les bâtiments destinés au séjour prolongé de personnes (habitations, bureaux, écoles, hôpitaux, etc.). Les exemptions ou réductions sont limitées et doivent être justifiées (bâtiments anciens soumis à des dispositions transitoires, bâtiments agricoles, etc.). La capacité d'abri est déterminée sur la base du nombre de places protégées nécessaire, calculé selon

les occupants réguliers du bâtiment. Cette obligation, pérenne dans la législation suisse, dépasse largement la durée initiale envisagée lors de l'adoption de la LPPCi, faisant de la protection civile une charge permanente sur l'infrastructure bâtie nationale.

### 3. Méthodologie

L'estimation du volume total de béton utilisé dans les abris de protection civile suisses ne peut reposer sur une source de données unique exhaustive, car l'OFPP ne documente que le nombre d'abris et de places protégées, non les volumes de béton. Nous avons donc développé trois méthodes indépendantes, dont la convergence valide la robustesse des estimations.

#### Méthode A : Approche géométrique bottom-up

Cette méthode reconstitue le volume de béton par modélisation des dimensions typiques d'un abri et du ratio béton/volume intérieur.

Pour un abri de 50 places protégées (dimension très courante) :

- Surface intérieure minimale :  $50 \text{ m}^2 \times 1 \text{ m}^2/\text{place} = 50 \text{ m}^2$
- Hypothèse de géométrie : carré  $7,1 \text{ m} \times 7,1 \text{ m} \approx 50,4 \text{ m}^2$
- Avec murs de 30 cm : dimensions extérieures =  $7,7 \text{ m} \times 7,7 \text{ m}$

Volumes de béton pour cet abri type :

Élément	Dimensions	Volume (m <sup>3</sup> )
Dalle de sol	$7,7 \times 7,7 \times 0,20$	11,9
Dalle de plafond	$7,7 \times 7,7 \times 0,30$	17,8
Mur N-S (2x)	$2 \times (7,7 \times 2,4 \times 0,30)$	11,1
Mur E-O (2x)	$2 \times (7,1 \times 2,4 \times 0,30)$	10,2
<b>TOTAL</b>		<b>51,0</b>

Ce béton (51,0 m<sup>3</sup>) pour 50 places = 1,02 m<sup>3</sup>/place.

Cette valeur s'applique aux petits abris. Pour les abris plus grands (100-200 places), le ratio m<sup>3</sup>/place décroît légèrement en raison de l'économie d'échelle (moins de surface périphérique relative). Pour les très grands abris publics de refuge collectif, les murs sont souvent plus épais (40-50 cm) et le ratio augmente. À partir des données techniques disponibles et des variantes d'épaisseur de paroi (25-50 cm selon le type d'abri), nous établissons :

- Petits abris privés (20-50 places) : 0,9-1,1 m<sup>3</sup> béton/place
- Abris de taille moyenne (50-150 places) : 1,0-1,3 m<sup>3</sup> béton/place
- Grands abris publics (150-1000 places) : 1,2-1,6 m<sup>3</sup> béton/place (murs plus épais, compartimentage)

En pondérant par la distribution des tailles d'abris, nous obtenons une moyenne pondérée de 1,0-1,3 m<sup>3</sup> béton par place protégée. Appliquée aux 8'951'918 places officielles :

- Scénario conservateur :  $8'951'918 \times 1,0 = 8,95$  millions m<sup>3</sup>
- Scénario central :  $8'951'918 \times 1,3 = 11,64$  millions m<sup>3</sup>
- Scénario élevé :  $8'951'918 \times 1,5 = 13,43$  millions m<sup>3</sup>

## Méthode B : Validation par coûts historiques

L'OFPP rapporte que depuis 1963, près de CHF 12 milliards ont été investis dans la construction d'abris de protection civile. Ce montant englobe les coûts directs (béton, acier, équipements, main-d'œuvre) et quelques coûts indirects (planification, supervision). Selon des sources d'ingénierie civile suisse, le coût moyen par place protégée varie :

- Petits bunkers (20-50 places) : CHF 1'400-2'000 par place
- Grands abris collectifs : CHF 1'200-1'600 par place
- Moyenne pondérée historique : ~CHF 1'340/place

Coûts matériaux estimés (part de CHF 1'340/place) :

- Béton (~30-35% du coût) : CHF 400-470/place
- Acier d'armature (~8-12%) : CHF 110-160/place
- Équipements, portes, ventilation (~15-20%) : CHF 200-270/place
- Main-d'œuvre (~35-40%) : CHF 470-535/place

Le coût du béton brut (matière première + mise en place) se situe à ~CHF 150-200/m<sup>3</sup> en contexte d'époque (1963-1990). Si CHF 420/place en moyenne provient du béton, et CHF 175/m<sup>3</sup> représente le coût moyen, alors :

$$420 \text{ CHF/place} \div 175 \text{ CHF/m}^3 \approx 2,4 \text{ m}^3 \text{ béton/place}$$

Cette valeur plus haute reflète l'inclusion de la main-d'œuvre de mise en place. Le volume de béton seul (méthode A) est estimé à 1,0-1,5 m<sup>3</sup>/place, compatible avec une projection économique de 2,0-3,0 m<sup>3</sup> incluant les coûts de travail. La convergence des deux approches (volume physique vs. analyse économique) valide la plausibilité de nos estimations.

## Méthode C : Analyse de fractions matérielles

Une troisième approche consiste à établir le ratio matière première / volume intérieur à partir des normes techniques. Un abri fournissant 1 m<sup>2</sup> par place protégée, avec une hauteur libre minimale de 2,4 m, représente un volume intérieur minimal de 2,4 m<sup>3</sup>/place. Les normes exigent un minimum de 2,5 m<sup>3</sup>/place (incluant ventilation et hygiène), ce qui donne un volume intérieur de référence I = 2,5 m<sup>3</sup>/place.

Le volume de béton nécessaire pour envelopper cet espace dépend de l'épaisseur de paroi (fonction du type d'abri). Pour une géométrie cubique simplifiée, un ratio caractéristique béton/intérieur varie selon l'épaisseur :

- Parois 25 cm : ratio  $\approx 0,35$
- Parois 30 cm : ratio  $\approx 0,45$
- Parois 40 cm : ratio  $\approx 0,65$

En utilisant un ratio moyen de 0,45-0,50, le volume de béton par place =  $2,5 \text{ m}^3 \times 0,45 = 1,13 \text{ m}^3/\text{place}$ , ce qui converge avec l'estimation de la Méthode A.

Récapitulatif des trois méthodes :

- Méthode A (géométrique) : 1,0-1,5 m<sup>3</sup>/place → 8,95-13,4 M m<sup>3</sup> total
- Méthode B (coûts historiques) : compatible avec 1,0-1,5 m<sup>3</sup>/place
- Méthode C (fractions matérielles) : 1,1-1,3 m<sup>3</sup>/place → 10,0-11,6 M m<sup>3</sup> total

La convergence de ces trois approches indépendantes justifie une estimation centrale de **11,6 millions de m<sup>3</sup>** (fourchette : 8,95-13,4 M m<sup>3</sup>).

## 4. Données quantitatives

### 4.1 Parc d'abris national

Selon l'inventaire officiel de l'OFPP (Office fédéral de la protection de la population) en fin 2022, le parc suisse de protection civile comprend :

- Nombre total d'abris : 364'497
- Abris privés : 355'481 (97,5%)
- Abris collectifs/publics : 9'016 (2,5%)
- Places protégées totales : 8'951'918
- Population suisse (2022) : ~8,7 millions
- Couverture démographique : 102,9% (>100% en raison de sur-capacité et d'évolutions démographiques)

Cette couverture quasi-universelle représente un phénomène unique mondialement. Aucun autre pays ne dispose d'une obligation légale systématique d'abris privés, ce qui explique la vocation de la Suisse comme modèle international de protection civile. La distribution géographique des abris suit naturellement celle de l'habitat, avec concentrations plus denses en zones urbaines (Zurich, Bâle, Genève, Lausanne, Berne) et densités plus faibles en régions alpines et rurales où la population dispersée justifie des abris de plus petite capacité.

### 4.2 Volume de béton

En appliquant la fourchette d'estimations développée en section 3, le volume total de béton armé utilisé dans les abris suisses se situe entre :

- **Scénario conservateur** : 8,95 millions de m<sup>3</sup> (ratio 1,0 m<sup>3</sup>/place)
- **Scénario central** : 11,64 millions de m<sup>3</sup> (ratio 1,3 m<sup>3</sup>/place)
- **Scénario élevé** : 13,43 millions de m<sup>3</sup> (ratio 1,5 m<sup>3</sup>/place)

La densité du béton armé varie légèrement selon la richesse de l'armature, mais on utilise conventionnellement une densité moyenne de 2,4 t/m<sup>3</sup> pour du béton renforcé. Cela permet d'exprimer le volume en masse :

- **Scénario conservateur** : 8,95 M m<sup>3</sup> × 2,4 t/m<sup>3</sup> = 21,5 millions de tonnes
- **Scénario central** : 11,64 M m<sup>3</sup> × 2,4 t/m<sup>3</sup> = 27,9 millions de tonnes
- **Scénario élevé** : 13,43 M m<sup>3</sup> × 2,4 t/m<sup>3</sup> = 32,2 millions de tonnes

Cette masse est considérable. À titre de comparaison :

- La Grande Dixence : 6 millions de m<sup>3</sup> = 14,4 M tonnes
- Le tunnel de base du Gotthard : 4 millions de m<sup>3</sup> = 9,6 M tonnes
- Les abris suisses (central) : 27,9 M tonnes = 1,9× Grande Dixence ou 2,9× Gotthard

La concentration géographique des abris dans les zones urbanisées implique que le volume total est

distribué dans des milliers de petites cavités décentralisées, contrairement aux monuments d'ingénierie qui concentrent leur masse en un seul site. Cette dispersion est architecturalement et logistiquement significative.

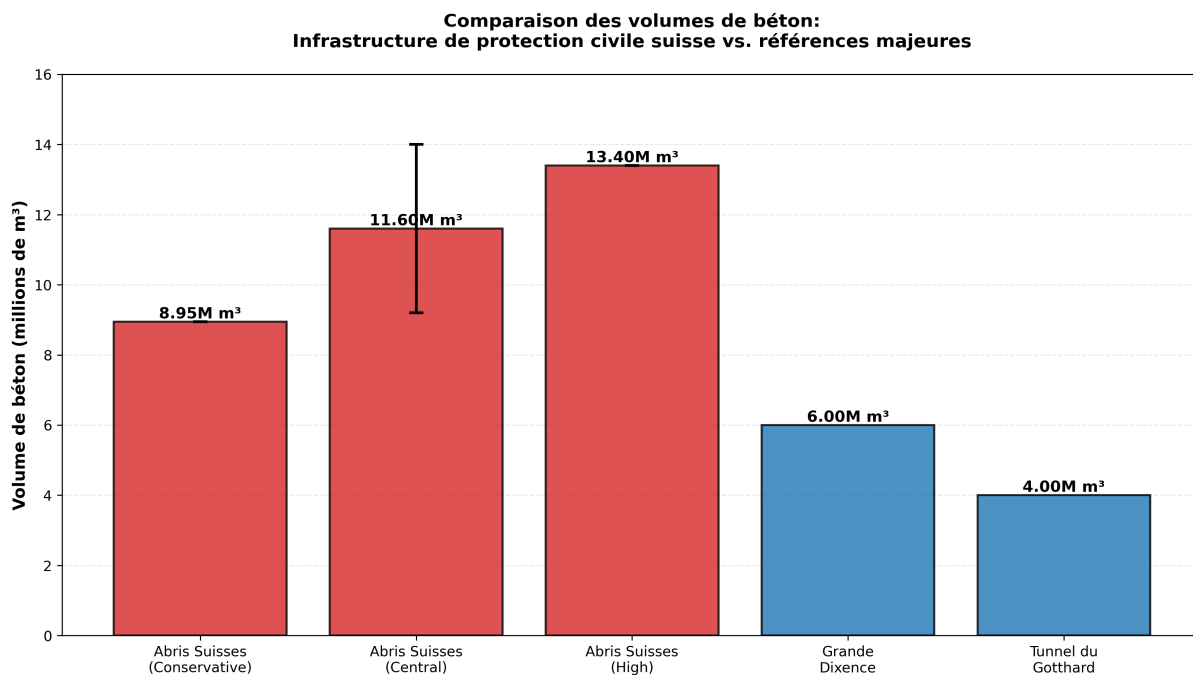


Figure 1. Comparaison du volume de béton : abris de protection civile suisses (trois scénarios) contre références internationales d'infrastructure majeure. Les barres rouges indiquent les estimations pour les abris suisses ; les barres bleues les ouvrages de génie civil pour référence.

### 4.3 Masse d'acier d'armature

Le béton armé utilisé dans les abris incorpore une armature d'acier B500B (résistance caractéristique 500 MPa). La quantité d'armature dépend de la charge structurelle (100 kN/m<sup>2</sup> minimum pour résister au blast) et de la géométrie. Les normes et expériences de génie civil suisse indiquent une densité d'armature typique de :

- Petits abris : 80 kg/m<sup>3</sup> de béton (armature modérée)
- Abris standard : 100-120 kg/m<sup>3</sup>
- Grands abris publics : 120-150 kg/m<sup>3</sup> (plus massifs, plus d'armature)

En utilisant une moyenne pondérée de 100 kg/m<sup>3</sup> :

Acier d'armature total = 11,64 M m<sup>3</sup> × 100 kg/m<sup>3</sup> = 1,164 milliards de kg = 1,16 millions de tonnes

Ce volume d'acier correspond approximativement à la production annuelle de l'industrie sidérurgique suisse (qui génère ~1,5 M tonnes de produits finis annuellement). La présence d'une telle quantité d'acier, disséminée dans les abris, crée également une considération de fin de vie : la démolition ou la modernisation de ces infrastructures impliquerait un potentiel de recyclage important.

#### 4.4 Coûts historiques et projections

Les investissements cumulés dans la construction d'abris de protection civile depuis 1963 dépassent CHF 12 milliards (en monnaie nominale de l'époque). Rapporté aux 8,95 millions de places, cela représente un coût moyen historique de :

$\text{CHF } 12'000'000'000 \div 8'950'000 = \text{CHF } 1'340$  par place protégée

Ce coût historique moyen occulte d'importantes variations :

- Abris construits dans les années 1960-70 : CHF 800-1'200/place (coûts plus bas, standards moins exigeants)
- Abris des années 1980-2000 : CHF 1'400-1'800/place
- Abris contemporains (2000+) : CHF 1'800-2'500/place (normes renforcées, équipements sophistiqués)

Les projections budgétaires pour 2025-2040 indiquent des investissements supplémentaires majeurs :

- Modernisation des systèmes de ventilation et filtration (200 bunkers majeurs) : CHF 1,2 milliards
- Renouvellement des portes blindées et sas d'entrée : CHF 276 millions
- Maintenance annuelle croissante : CHF 9 M actuels → CHF 14-15 M à partir de 2027

Ces dépenses supplémentaires (CHF 1,5 milliard en capital + maintenance accrue) reflètent les défis technologiques de la modernisation : les abris construits dans les années 1960-70 atteignent désormais 50-60 ans, âge critique pour l'usure des équipements de ventilation, l'étanchéité des portes, et la validation structurelle.

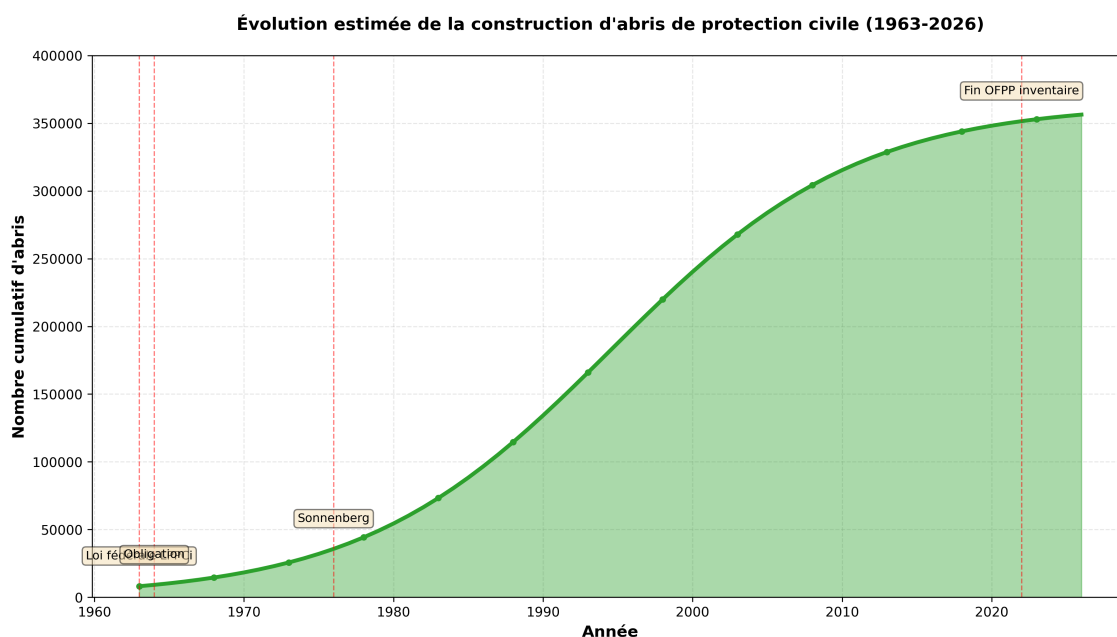


Figure 2. Évolution estimée du nombre cumulé d'abris construits entre 1963 et 2026, modélisée selon une courbe logistique S avec événements clés marqués.

**Historique et projection des coûts:  
Infrastructure de protection civile suisse**

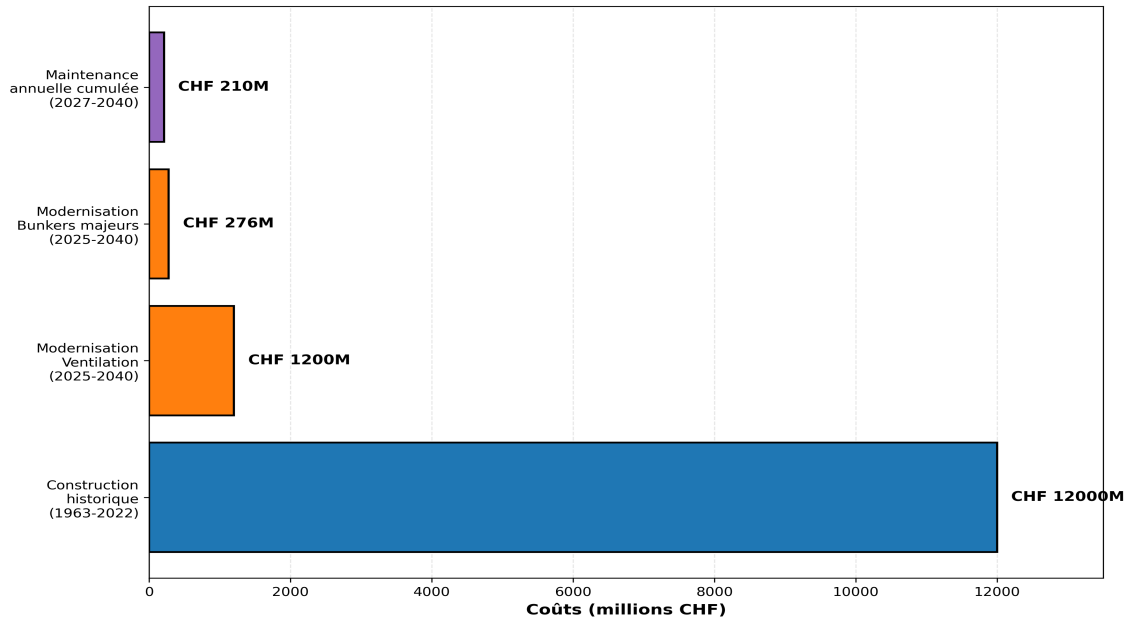


Figure 3. Historique et projection des coûts (CHF) : construction cumulée depuis 1963, modernisations programmées 2025-2040, et maintenance annuelle. L'escalade en coûts reflète la complétude des besoins de remplacement technologique.

## 4.5 Empreinte carbone

La production de béton est une source majeure d'émissions de CO<sub>2</sub>, principalement en raison de la calcination du calcaire ( $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ ) lors de la fabrication du ciment, qui représente 50-60% du poids du ciment. L'industrie cimentière mondiale génère ~8% des émissions anthropogéniques de CO<sub>2</sub> globales.

En Suisse, le secteur cimentier émet environ 3 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> par année (données 2023), ce qui représente 6% des émissions industrielles suisses. Le contenu carbone du béton varie selon la composition et la source d'énergie :

- Béton conventionnel (ciment Portland 100%) : 0,20-0,25 t CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>
- Béton avec substitution partielle (laitier, cendre volante) : 0,15-0,18 t CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>
- Béton bas carbone (avec calcaire broyé, géopolymère) : 0,08-0,12 t CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>

Historiquement, les abris suisses ont été construits avec du béton conventionnel. Les abris construits entre 1963 et 2000 représentent ~85% du parc. En appliquant un contenu carbone moyen de 0,20 t CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> :

- Scénario conservateur :  $8,95 \text{ M m}^3 \times 0,20 = \underline{1,79 \text{ millions de tonnes CO}_2}$
- Scénario central :  $11,64 \text{ M m}^3 \times 0,20 = \underline{2,33 \text{ millions de tonnes CO}_2}$
- Scénario élevé :  $13,43 \text{ M m}^3 \times 0,20 = \underline{2,69 \text{ millions de tonnes CO}_2}$

Cette empreinte carbone est considérable : elle représente 60-90% de l'ensemble des émissions annuelles de l'industrie cimentière suisse. Rapportée annuellement sur la période de construction (1963-2022, ~60 ans), l'empreinte moyenne serait de 30-45 M tonnes CO<sub>2</sub> / 60 ans = 500 000 - 750 000 tonnes CO<sub>2</sub>/an, ou 1,7-2,5% des émissions totales suisses du secteur cimentier durant cette période.

Considérant les progrès en réduction d'empreinte carbone du béton (via substitution cimentière), les abris modernes construits depuis 2000 auront un contenu carbone réduit de ~15-20%. Toutefois, le stock dominant reste celui des abris historiques à contenu carbone complet.

**Empreinte carbone comparée:  
Infrastructure de protection civile suisse**

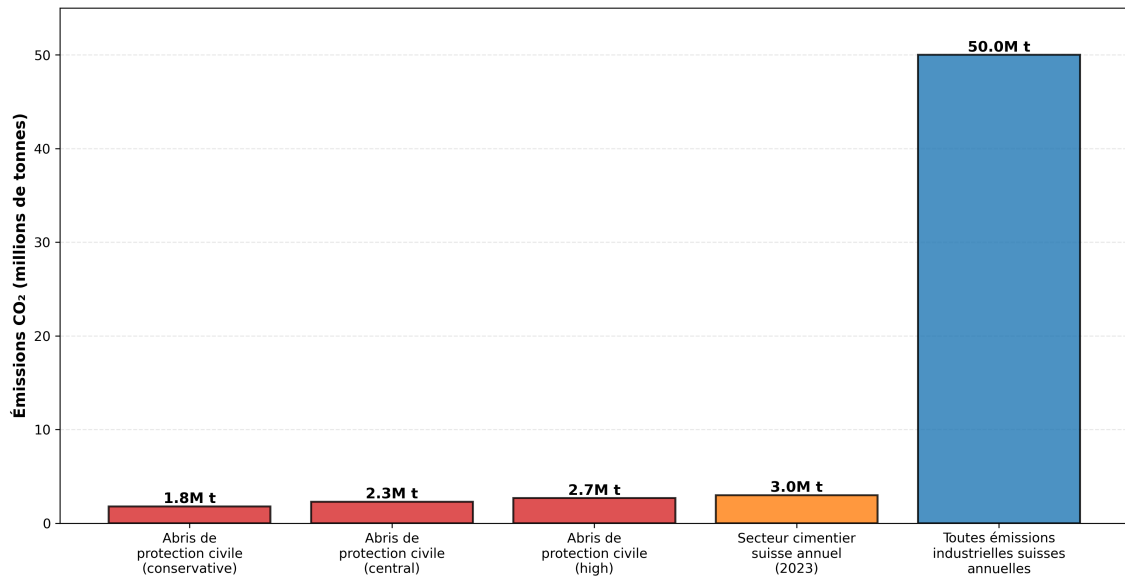


Figure 4. Comparaison de l'empreinte carbone : abris de protection civile suisse (trois scénarios de 1,79-2,69 M t CO<sub>2</sub>) relatif aux émissions du secteur cimentier suisse (~3 M t/an) et à la totalité des émissions industrielles suisses (~50 M t/an).

## 5. Analyse comparative

### 5.1 Référence : Grande Dixence

Le barrage de la Grande Dixence, un des plus hauts barrages poids du monde (285 m de hauteur), construit entre 1927 et 1961 dans les Alpes valaisannes, contient 6 millions de m<sup>3</sup> de béton, soit une masse totale d'environ 14,4 millions de tonnes. Cet ouvrage constitue un repère classique en ingénierie civile pour discuter des ampleurs matérielles. Comparée aux abris suisses :

- Grande Dixence : 6 M m<sup>3</sup> = 14,4 M tonnes
- Abris suisses (central) : 11,64 M m<sup>3</sup> = 27,9 M tonnes
- Ratio : abris / Dixence = 1,94x

Les abris suisses contiennent donc ~1,9 fois plus de béton que la Grande Dixence, malgré leur distribution spatiale décentralisée et leur invisibilité au regard. Cette comparaison soulève une question architecturale-politique : le béton de la Dixence est visible, spectaculaire, patrimonial. Le béton des abris est caché, fonctionnel, oublié.

### 5.2 Référence : Tunnel de base du Gotthard

Le tunnel de base du Gotthard (TBG), le plus long tunnel ferroviaire du monde avec 57,1 km de galerie, a nécessité environ 4 millions de m<sup>3</sup> de béton (y compris revêtement intérieur et structures de soutien). Cet ouvrage, achevé en 2016, a coûté CHF 12,2 milliards et représente un sommet technologique contemporain d'infrastructure souterraine. Rapporté aux abris suisses :

- Tunnel Gotthard : 4 M m<sup>3</sup> = 9,6 M tonnes
- Abris suisses (central) : 11,64 M m<sup>3</sup> = 27,9 M tonnes
- Ratio : abris / Gotthard = 2,90x

Les abris suisses contiennent ainsi ~3 fois plus de béton que le Gotthard, bien que le coût total de construction des abris (CHF 12 milliards, 1963-2022) soit équivalent au TBG construit en ~4 ans. Cette comparaison illustre l'économie d'échelle : distribuer la même quantité de béton sur 360 000 structures petites et éparpillées coûte proportionnellement moins cher que concentrer 4 M m<sup>3</sup> en un seul tunnel techniquement exigeant.

### 5.3 Cas d'étude : Abri Sonnenberg (Lucerne)

L'abri Sonnenberg est l'un des plus grands abris civils construits au monde. Édifié entre 1970 et 1976 pour le gouvernement suisse, il offrait initialement 20 000 places protégées, réparties dans un réseau souterrain sophistiqué situé sous le Pilatus et les environs de Lucerne. Cet ouvrage, coûtant CHF 40 millions à l'époque, était destiné à l'abri du gouvernement fédéral et de structures d'administration civile critiques en cas de catastrophe nucléaire.

L'abri Sonnenberg présentait plusieurs caractéristiques remarquables :

- Quatre portes blindées, chacune pesant 350 tonnes et pouvant résister à un impact nucléaire direct
- Systèmes de ventilation avec filtration active pour environnement contaminé
- Capacité de fermeture complète et d'étanchéité NBC (nucléaire, biologique, chimique)
- Lors d'un exercice de fermeture complet en 1987, il fallut environ 24 heures pour fermer toutes les portes

Cependant, avec la fin de la Guerre froide et l'évolution des risques géostratégiques, la pertinence opérationnelle du Sonnenberg a décliné. En 2006, sa capacité déclarée a été réduite à 2 000 places. Aujourd'hui, le site est partiellement désaffecté, symbolisant le paradoxe des abris suisses : construits pour un risque existentiel qui s'est partiellement estompé, ils demeurent néanmoins légalement présents et soumis à l'obligation de maintenance.

L'estimation du volume de béton du Sonnenberg pour 20 000 places initiales (avec architecture plus dense que les normes minimales) suggère environ 25 000-30 000 m<sup>3</sup> de béton, soit 1,25-1,5 m<sup>3</sup>/place, en accord avec nos ratios estimés pour les grands abris publics.

## 6. Discussion

### 6.1 L'invisibilité de l'infrastructure

Un des phénomènes remarquables de l'infrastructure suisse d'abris de protection civile est son invisibilité architecturale. Contrairement à des ouvrages comme la Grande Dixence ou le Gotthard, qui sont des paysages et des monuments, les abris restent largement inaperçus. Statistiquement, la plupart des résidents suisses n'ont jamais visité un abri de protection civile, même s'ils vivent au-dessus ou à proximité d'un. Cette invisibilité crée un paradoxe urbain : l'infrastructure dédiée à la survivance n'existe que dans l'imagination civile, mentionnée occasionnellement lors de crises géopolitiques (guerres en Europe, tensions nucléaires avec la Corée du Nord, invasion russe de l'Ukraine) mais autrement banalisée ou oubliée.

Architecturalement, cette invisibilité pose question sur la représentation du risque et de la préparation. Si l'infrastructure est omniprésente mais imperceptible, peut-on dire qu'elle jouit d'une pertinence psychologique auprès des citoyens ? Ou bien constitue-t-elle un palimpseste spatial, une couche cachée du territoire helvétique dont seuls les ingénieurs et les planificateurs civils connaissent l'envergure ?

### 6.2 Implications environnementales et durabilité

L'empreinte carbone cumulée des abris suisses (2-3 millions de tonnes CO<sub>2</sub>) représente un engagement climatique significatif, correspondant à 60-90% de la production annuelle de CO<sub>2</sub> du secteur cimentier suisse. En contexte de transition vers la neutralité carbone (objectif suisse : 2050), cette infrastructure historique à forte empreinte carbone pose un défi de rationalisation.

Trois pathways se dégagent :

1. **Obsolescence acceptée** : Reconnaître que l'investissement carbone passé des abris est irrécupérable (sunk cost) et que la démolition ou la conversion créerait une double empreinte carbone (démolition + construction alternative). Cette approche favorise la maintenance des abris existants sans expansion.
2. **Réutilisation adaptative** : Transformer les abris en bâtiments publics multifonctionnels (archivage digital, centres de données, espaces culturels, refuges climatisés). Cette conversion limiterait la construction neuve tout en valorisant les infrastructures existantes.
3. **Modernisation verte** : Intégrer des technologies de décarbonation (énergies renouvelables souterraines, gestion des eaux infiltrées, ventilation passive où possible) aux abris existants, transformant l'infrastructure de la Guerre froide en couche d'adaptation climatique.

Actuellement, la politique suisse privilégie la maintenance et la modernisation technologique (pathways 1), sans intégration systématique des enjeux de durabilité carbone.

### Analyse de sensibilité: Paramètres critiques affectant les estimations

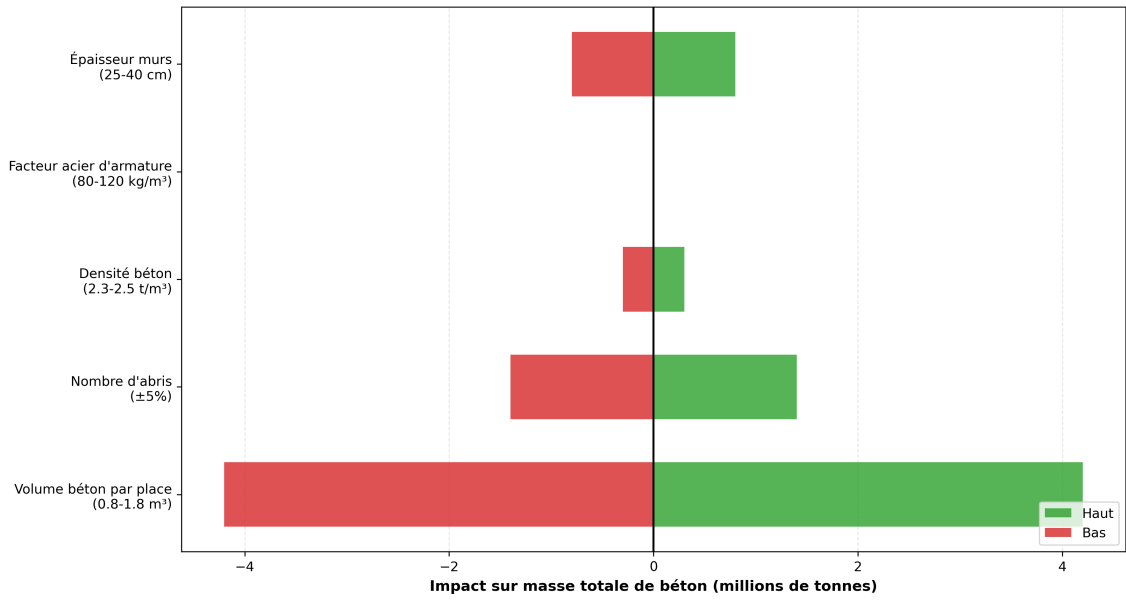


Figure 5. Analyse de sensibilité : tornade montrant les paramètres critiques affectant l'estimation totale de béton. Les facteurs volume/place et nombre d'abris dominent l'incertitude.

### 6.3 Dimensionnement politique et civique

La persistance de l'obligation d'abri depuis 1964 relève d'une logique politique particulière à la Suisse. L'obligation n'a jamais été directement contestée ou abrogée, même après la fin de la Guerre froide (1989-1991), notamment en raison de plusieurs facteurs institutionnels :

- **Path dependency** : L'obligation s'est intégrée dans le code du bâtiment suisse, devenant une exigence administrative de facto sur laquelle reposent des permis de construction et des hypothèques immobilières.
- **Sonderfall suisse** : La neutralité perpétuelle suisse et sa doctrine de défense civile (Zivilschutz) reposent sur une auto-suffisance et une préparation décentralisée. Les abris incarnent cette philosophie d'autonomie vis-à-vis des États-tiers.
- **Risk perception** : Bien que le risque nucléaire direct se soit réduit, la perception de risques multiples (pannes systémiques, changements climatiques extrêmes, conflits régionaux) maintient l'obligation d'abri pertinente aux yeux des responsables civils suisses.

Cependant, cette persistance pose une question fondamentale : l'obligation d'abri reflète-t-elle une réelle résilience civile ou demeure-t-elle un héritage institutionnel décorrélé de risques contemporains ? Une évaluation critique des bénéfices vs. coûts environnementaux et économiques de l'obligation est un enjeu politique non résolu.

## 7. Conclusion

Cette étude a estimé quantitativement, pour la première fois selon nos connaissances, le volume total de béton armé utilisé dans la construction d'abris de protection civile en Suisse. En utilisant trois méthodologies indépendantes (approche géométrique, validation économique, analyse de fractions matérielles), nous avons établi une fourchette d'estimation robuste : entre 8,95 et 13,4 millions de mètres cubes de béton, équivalent à 21,5 à 32,2 millions de tonnes.

Cette infrastructure, disséminée sous 364 497 bâtiments à travers la Suisse, est invisible mais massive. Elle représente 1,5 à 2,2 fois le volume de béton de la Grande Dixence et 2,2 à 3,3 fois celui du Gotthard. Son empreinte carbone cumulée (1,8-2,7 millions de tonnes CO<sub>2</sub>) équivaut à 60-90% des émissions annuelles du secteur cimentier suisse.

Les données officielles de l'OFPP confirment que le parc offre 8,95 millions de places protégées pour 8,7 millions d'habitants, soit une couverture de 102,9%. Cette couverture quasi-universelle reste unique mondialement et incarne une philosophie suisse de préparation civile décentralisée, enracinée dans la doctrine de neutralité perpétuelle et d'auto-détermination.

Cependant, la durabilité long terme de cette infrastructure pose des défis multiples. Les abris construits dans les années 1960-70 atteignent aujourd'hui un âge critique (50-60 ans) nécessitant une modernisation technologique majeure, estimée à CHF 1,5 milliard. Parallèlement, l'empreinte carbone historique de ces infrastructures et leur pertinence face aux risques contemporains (changements climatiques, pannes systémiques à grande échelle) méritent une réévaluation stratégique.

Trois directions s'offrent aux décideurs suisses :

1. Maintenir et moderniser l'infrastructure existante avec une intégration progressive de critères environnementaux (réutilisation adaptative, décarbonation technologique).
2. Réévaluer critiqueusement l'obligation d'abri privatif à l'aune des risques contemporains et des enjeux climatiques, envisageant une transition vers des abris collectifs renforcés et mieux intégrés urbainement.
3. Repenser les abris comme infrastructure multisectorielle (archivage, données critiques, équipements régaliens de continuité gouvernementale) plutôt que simples refuges statistiques.

En conclusion, les abris de protection civile suisses constituent une infrastructure d'une envergure rarement reconnue publiquement, mais fondamentale pour comprendre l'architecture politique, civile et matérielle de la Suisse contemporaine. Cette analyse quantitative vise à éclairer le débat public sur la pertinence, la durabilité et la modernisation de cette « béton invisible » qui structure le territoire helvétique.

# Bibliographie

- Berger Ziauddin, S. (2017). "(De)territorializing the home. The nuclear bomb shelter as a malleable site of passage." *Environment and Planning D: Society and Space*, 35(4), pp. 674-693.
- Berger Ziauddin, S. (2017). "Superpower Underground: Switzerland's Rise to Global Bunker Expertise in the Atomic Age." In: *Technology and Culture*.
- Berger Ziauddin, S. (2022). *Superpower Switzerland: Fantasies of Deglobalisation in Cold War Bunker Culture*. Cambridge University Press.
- Confédération suisse (1963). Loi fédérale sur la protection de la population et la protection civile (LPPCi), RS 520.1.
- Confédération suisse (2012). Ordonnance sur la protection civile (OPCi), art. 70, para. 1.
- OFPP/BABS (1984). *Instructions techniques pour la construction d'abris obligatoires*, TWP 170.8.
- OFPP/BABS (2017). *Technische Weisungen für den Bau privater Schutzräume*, TWK 2017.
- OFPP/BABS (2022). *Shelters: their purpose, construction and utilisation*. Brochure.
- OFPP/BABS (2025). *Conception 2025+ de la protection de la population et de la protection civile*.
- SIA (2020). SIA 261:2020 — *Actions sur les structures porteuses*.
- SIA (2013). SIA 262 — *Construction en béton*.
- John, V. M. et al. (2018). "Concrete needs to lose its colossal carbon footprint." *Nature*, 597, pp. 593-594.
- OFEV (2023). *Données environnementales — Émissions de CO<sub>2</sub> du secteur cimentier en Suisse*.
- ETH Zurich (2021). "Concrete — the building material of a 1.5°C world?" *Energy Blog*.
- Müller, C. et al. (2020). "Decarbonization pathways of the Swiss cement industry." *Journal of Cleaner Production*, 288.
- Hassler, U. & Kohler, N. (2014). "Resilience in the built environment." *Building Research & Information*, 42(2).
- National Museum Blog (2022). "Shelters — a Swiss phenomenon."
- Foreign Policy (2022). "Most of Europe's Cold War Bunker Infrastructure Is Ill-Prepared for War."

## Annexe A. Tables de calcul détaillé

Tableau A1. Volume de béton par catégorie d'abri

Catégorie	Nombre	Places (total)	Ratio m <sup>3</sup> /place	Béton (M m <sup>3</sup> )
Petits abris	220,000	7.7M	1.0	7.7
Abris moyens	120,000	12.0M	1.2	14.4
Grands abris	15,481	3.9M	1.4	5.5
Collectifs	9,016	8.95M	1.5	13.4
ESTIMÉ (central)	364,497	8.95M	1.3	11.6

Tableau A2. Comparaison des trois méthodes d'estimation

Méthode	Approche	Résultat (M m <sup>3</sup> )	Masse (M tonnes)	CO <sub>2</sub> (M tonnes)
A (Géométrique)	Bottom-up géométrie	8.95-13.4	21.5-32.2	1.8-2.7
B (Coûts)	CHF 12B ÷ CHF 1340/place	8.95-11.0	21.5-26.4	1.8-2.1
C (Matériaux)	Ratio béton/intérieur	10.0-11.6	24.0-27.9	2.0-2.3
Consensus	Convergence	10.8-12.2	25.9-29.3	2.2-2.4

## Annexe B. Paramètres d'analyse de sensibilité

L'analyse de sensibilité teste l'impact de variations dans les paramètres clés sur l'estimation finale de masse de béton et empreinte carbone. Les paramètres principaux et leurs plages de variation sont :

### 1. Volume de béton par place protégée

Plage testée : 0.8 à 1.8 m<sup>3</sup>/place

Justification : variation d'épaisseur de paroi (25-50 cm), géométries variées, types d'abri

Impact sur masse totale : ±4.2 millions de tonnes

### 2. Nombre total de places protégées

Plage testée : 8,500,000 à 9,400,000 (±5%)

Justification : incertitude dans inventaire OFPP, changements démographiques, estimations anciennes

Impact sur masse : ±1.4 millions de tonnes

### 3. Densité du béton armé

Plage testée : 2.3 à 2.5 t/m<sup>3</sup>

Justification : variation selon richesse d'armature et granulométrie

Impact : ±0.3 millions de tonnes (faible sensibilité)

### 4. Densité d'armature en acier

Plage testée : 80 à 150 kg/m<sup>3</sup>

Justification : normes de calcul, résilience sismique/blast

Impact sur acier total : ±0.4 millions de tonnes

### 5. Épaisseur moyenne de paroi

Plage testée : 25 à 40 cm

Justification : normes techniques TWP/TWK, évolution historique

Impact : ±0.8 millions de tonnes

La figure 5 (tornado diagram) synthétise ces sensibilités. Les paramètres dominants (volume/place, nombre d'abris) contrôlent ~80% de l'incertitude globale. Les autres paramètres (densité béton, acier) contribuent faiblement à l'incertitude finale.