

---

**Mémoire de fin d'études : "Comment l'architecte à l'aide des procédés de reconversion peut-il changer l'image que les habitants se font des anciens bâtiments de guerre ? Le cas des bases de sous-marins du mur de l'Atlantique ?"**

**Auteur :** Roulet, Olivier

**Promoteur(s) :** Vandenbulcke, Benoît

**Faculté :** Faculté d'Architecture

**Diplôme :** Master en architecture, à finalité spécialisée en art de bâtir et urbanisme

**Année académique :** 2022-2023

**URI/URL :** <http://hdl.handle.net/2268.2/16651>

---

*Avertissement à l'attention des usagers :*

*Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.*

*Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.*

---



UNIVERSITÉ DE LIÈGE – FACULTÉ D'ARCHITECTURE

**« Comment l'architecte à l'aide des procédés de reconversion, peut-il changer l'image que les habitants se font des anciens bâtiments de guerre? Le cas des bases de sous-marins du mur de l'Atlantique. »**

Travail de fin d'études présenté par Olivier ROULET en vue de l'obtention du grade de Master en Architecture.

Sous la direction de : Benoit VANDENBULCKE  
Année académique : 2022 -2023

# ANNEXE I : le béton

## ANNEXES

*L'ensemble des informations, qui seront présentes dans ces annexes, ont été reprises et citées sous leur forme originelle. Ces informations sont donc strictement à but informatif afin de permettre au lecteur d'approfondir sa compréhension du sujet.*

### 1. Le béton classique

#### «Carbonation

Le gaz carbonique contenu dans l'air à tendance à se combiner avec les composés hydratés, en commençant par les bases alcalines dissoutes dans la solution aqueuse interstitielle, en particulier le  $\text{Ca(OH)}_2$ . (...) La progression de ce phénomène de carbonatation se fait de l'extérieur de l'ouvrage, en contact avec l'air ambiant, vers l'intérieur. Dans un premier temps, la vitesse de propagation est ralentie par la formation des carbonates qui colmatent partiellement la porosité. Elle diminue donc avec la profondeur atteinte. Dans un second temps, la carbonatation a pour conséquence une neutralisation (chute du pH de la solution interstitielle) du milieu de protection des armatures, qui peuvent alors s'oxyder. La cinétique du processus dépend de la teneur en dioxyde de carbone et de la facilité avec laquelle le gaz carbonique pénètre dans les pores du béton. Cette progression est fonction de paramètres liés aux caractéristiques du béton (nature et dosage du ciment, dosage en eau, porosité et perméabilité) et au milieu environnant. Plus le béton est compact, le dosage en ciment élevé, le rapport eau/ciment faible et la résistance du béton élevée, plus la progression du front de carbonatation est lente. Tout ce qui conduit à diminuer la porosité du béton retarde donc l'échéance de dépassement des armatures. L'humidité relative de l'air joue, en particulier, un rôle important : la vitesse de carbonatation est maximale pour une humidité relative de l'ordre de 60 %, pratiquement nulle en atmosphère sèche ou pour des bétons complètement saturés en eau. L'alternance d'humidité et de séchage favorise le phénomène de carbonatation. La cinétique et la profondeur de carbonatation d'un béton sont donc fonction de sa composition, de sa structure poreuse et de l'humidité relative dans laquelle est situé l'ouvrage. Elle dépend aussi de la concentration en dioxyde de carbone et de la température de l'atmosphère environnant. Pour un béton courant, l'épaisseur de la couche carbonatée augmente proportionnellement à la racine carrée du temps.

De nombreuses études ont démontré que la migration du dioxyde de carbone à travers la texture poreuse du béton est significativement réduite lorsque la compacité du béton d'enrobage est augmentée. La porosité totale du béton et la distribution de la taille des pores sont les paramètres déterminants pour la diffusivité du dioxyde de carbone. L'augmentation de la compacité est obtenue en particulier en réduisant le rapport E/C. Ce rapport conditionne la perméabilité du béton, donc l'interconnexion du réseau poreux, et par conséquent la vitesse ainsi que la possibilité de diffusion des gaz et des ions dans le béton. La diminution du rapport E/C permet donc d'accroître la résistance du béton à la carbonatation. Une cure prolongée permet d'augmenter la résistance du béton à la pénétration du dioxyde de carbone en améliorant les propriétés de surface du béton.

#### Action des chlorures

L'action des chlorures est spécifique à certains environnements dans lesquels peut se trouver le béton comme les ouvrages soumis aux sels de déverglaçage ou situés en site maritime (zone de marnage, surfaces soumises aux embruns). Les ions chlorures peuvent pénétrer par diffusion ou migrer par capillarité à l'intérieur du béton, franchir la zone d'enrobage, atteindre les armatures, "dépassement" l'armature acier et provoquer des corrosions, d'abord ponctuelles (corrosion par piqûres) puis généralisées à toute la surface de

l'acier (corrosion généralisée). La vitesse de pénétration des chlorures dépend en particulier de la porosité du béton. Elle décroît lorsque le rapport eau/ciment diminue. La corrosion des armatures s’amorce dès que la teneur en chlorures au niveau des armatures atteint un certain seuil de dépassivation. Ce seuil est fonction du pH de la solution interstitielle et de la teneur en oxygène au niveau des armatures ; il est de l’ordre de 0,4 à 0,5 % par rapport au poids du ciment. Il est atteint plus rapidement si le béton est carbonaté. La pénétration des ions chlorures est maximale dans les zones de marnage qui sont soumises à des cycles d’humidification et de séchage.

Effets de la corrosion

Le développement de la corrosion des armatures peut provoquer par gonflement une poussée au vide sur le béton d’enrobage (les oxydes de fer étant plus volumineux que l’acier, ils génèrent des contraintes internes dans le béton qui peuvent être supérieures à sa résistance en traction) et donc une altération de l’aspect extérieur de l’ouvrage (éclatement localisé, formation de fissures, formation d’épaufrures, apparition en surface de traces de rouille et éventuellement mise à nu de l’armature) et une réduction de la section efficace de l’armature et de son adhérence au béton. En règle générale, dans des milieux peu agressifs, les enrobages et les caractéristiques des bétons (compacité, homogénéité, résistance) préconisés sont suffisants pour garantir la protection naturelle des armatures durant la durée d’utilisation escomptée de l’ouvrage. Toutefois, des défauts d’enrobage, des bétons mal vibrés et de ce fait trop poreux, ou des milieux très agressifs, risquent de conduire à la dégradation prématurée des armatures en acier. Les enrobages et les caractéristiques des bétons préconisés dans les normes NF EN 206-1 et NF EN 1992-1-1 sont suffisants pour garantir la protection naturelle des aciers durant la durée d'utilisation de l'ouvrage, sous réserve d'une mise en œuvre soignée

Actions de l'eau de mer sur le béton

Un béton exposé en site maritime peut être l’objet de plusieurs types d’agressions :

- agressions mécaniques dues à l’action des vagues, de la houle et des marées, abrasion due aux chocs des corps flottants et érosion due aux effets des vagues,
- agressions chimiques dues à l’action, en particulier, des chlorures présents dans l’eau de mer et des sulfates mais aussi des nombreux sels dissous dans l’eau de mer et dans certains cas, à la pollution des eaux
- agressions climatiques dues aux variations de température
- agressions biologiques de micro-organismes.

Les structures situées en site maritime sont exposées à plusieurs types de configurations.

Elles peuvent être :

- continuellement immergées (béton situé sous le niveau de la mer, même à marée basse), les bétons situés dans cette zone sont rarement l’objet de dégradations importantes
- alternativement émergées ou immergées en fonction du niveau de la mer (zones de marnage déterminées par les niveaux de marée haute et basse). Les bétons situés dans les zones de marnage sont soumis 2 fois par jour à des imprégnations d’eau de mer alternant avec un essorage et donc à des cycles humidification-dessiccation et ce sont donc les plus agressés
- soumises aux éclaboussures provoquées par les vagues. Ces zones de hauteur variable sont situées au-dessus du niveau de l’eau à marée haute
- continuellement émergées, donc sans contact direct avec le milieu marin,

mais soumises aux embruns et brouillards marins contenant des chlorures. Les bétons situés dans cette zone peuvent subir de légères agressions ; pour les bétons de structure, la norme NF EN 206-1 étend cette zone jusqu’à 1 km de la côte

- soumises à l’air véhiculant du sel marin uniquement

Indépendamment de leurs caractéristiques propres, la résistance des bétons est donc variable en fonction du type d’exposition au milieu marin et du degré d’immersion. »

COMPOSITION DE L'EAU DE MER

La salinité des mers ou des océans peut être très variable, de quelques grammes par litre à plus de 200 g/l. La salinité des grands océans est de l'ordre de 35 g/l.

Composition moyenne d'un litre d'eau de mer

NaCl	27,20 g
MgCl <sub>2</sub>	3,80 g
MgSO <sub>4</sub>	1,65 g
CaSO <sub>4</sub>	1,25 g
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,85 g

soit au total 35 g

Le principal sel dissous dans l'eau de mer est le chlorure de sodium, puis viennent le chlorure de magnésium et les sulfates.

Source : <https://mediatheque.snbpe.org/userfiles/file/mediatheque/public/CT-T93.pdf>

2. Tableau synoptique des quantités de béton utilisées pour la construction des bases sous-marines françaises

	Brest		Lorient Keroman I & II		Lorient Keroman III		Lorient Scorff		Lorient Doms		Saint Nazaire		La Rochelle La Pallice		Bordeaux Betasom		Total	
Matériaux	Prévus	Réalisés	Prévus	Réalisés	Prévus	Réalisés	Prévus	Réalisés	Prévus	Réalisés	Prévus	Réalisés	Prévus	Réalisés	Prévus	Réalisés	Prévus	Réalisés
Terrassement en m3	256950	248549	276900	276900	320000	206000	9000	9000	?	?	177000	167000	261100	28920	900000	466400	2200950	1402769
Palplances	2380	2380	1660	1660	878	878	-	-	-	-	1839	1839	935	505	2000	1210	9692	8472
Piles/Pièce	4458	4458	4050	4050	1446	1446	340	340	-	-	-	-	-	-	3600	1847	13894	12141
Fondations en béton	224580	222812	94000	94000	80000	9200	7150	7150	-	-	113590	110542	107057	60043	173000	26650	799377	530397
Béton pour les murs en m3	60050	58750	79100	76200	41700	12500	9400	9400	-	-	40500	35484	49680	30912	47400	-	327830	223246
Béton pour les plafonds en m3	213810	165950	134200	127000	84500	80000	150	150	-	-	141300	93390	132464	82584	144900	-	851324	549074
Divers en m3	-	-	31800	31300	8000	8000	4000	4000	-	-	11000	-	7975	3766	11600	-	74375	47066
Béton ordinaire en m3	10000	7530	11500	6300	7000	6000	-	-	-	-	6684	6684	11824	3381	22200	6000	69208	35895
Total de béton en m3	508450	455042	350600	333800	221200	31500	20700	20700	-	-	313074	246100	309000	180680	400000	32650	2123024	1300472

Source : <http://www.u-boote.fr/>

### 3. Le bio béton

« - Qu'est-ce que le Bio-Béton ?

Le bio-béton est une forme de béton auto-cicatrisante conçue pour réparer ses propres fissures. Il a été développé par le chercheur et microbiologiste néerlandais Hendrik Jonkers en utilisant un ingrédient supplémentaire agissant comme un agent cicatrisant et ne nécessite aucune intervention humaine pour être réparé une fois placé. Bio-Concrete s'apprête à révolutionner l'industrie du bâtiment : l'inventeur néerlandais du béton autocicatrisant nommé finaliste du prix de l'inventeur européen

Des bâtiments et des structures en béton capables de sceller « comme par magie » et de réparer entièrement les fissures causées par la tension ?

Ce qui pouvait sembler un scénario utopique il y a encore quelques années deviendra bientôt réalité, grâce à l'invention du microbiologiste Hendrik « Henk » Marius Jonkers (50). Sa vision : développer une approche bionique qui améliore la résistance à la traction et les propriétés écologiques du béton. Le chercheur néerlandais a entrepris de développer le bio-béton du futur - avec des bactéries productrices de calcaire qui peuvent survivre dans une structure en béton jusqu'à 200 ans et qui "se réveillent" lorsque des dommages se produisent, leur permettant de guérir les fissures. En Europe, où le béton représente 70 % des infrastructures, l'innovation révolutionnaire de Jonkers promet de réduire les coûts de production et d'entretien du béton, ainsi que de réduire les émissions de dioxyde de carbone qui en résultent.

Pour son invention exceptionnelle, Jonkers a été nommé finaliste du célèbre prix de l'inventeur européen de 2015 dans la catégorie Recherche. La 10<sup>e</sup> édition du prix annuel sera décernée par l'Office européen des brevets (OEB) lors d'une cérémonie le 11 juin à Paris.

« Le béton bactérien d'Hendrik Jonkers prolonge la durée de vie des ponts, des rues et des tunnels et ouvre de toutes nouvelles perspectives pour la production de béton », a déclaré le Président de l'OEB Benoît Battistelli, en annonçant les finalistes du Prix de l'inventeur européen. "Cette innovation tournée vers l'avenir est une combinaison réussie de la microbiologie et du génie civil - deux sciences qui sont des collaborateurs peu probables à première vue."

- Jonkers exploite les propriétés régénératrices de la nature

La passion de Henk Jonkers pour la plongée et le camping a été l'étincelle qui a enflammé sa carrière : elle a commencé par des études en biologie marine à l'Université de Groningen aux Pays-Bas. Après avoir terminé son doctorat en septembre 1999, il a commencé à concentrer ses travaux de développement sur l'observation du comportement bactérien. Il a d'abord expérimenté des bactéries productrices de calcaire en tant qu'assistant de recherche à l'Institut Max Planck de microbiologie marine de Brême. Les tentacules de poulpe auto-guérissables ou les plantes qui créent de nouveaux organismes avec des ramifications ont inspiré l'invention de Jonkers.

Expert en comportement bactérien, il poursuit sa carrière en 2006 à la Faculté de Génie Civil et de Géosciences de l'Université de Technologie de Delft. Le programme de recherche de Jonkers à Delft s'est concentré sur la recherche d'une solution pour transférer les propriétés d'auto-guérison des organismes naturels à un matériau de construction artificiel, le béton.

- Agents auto-cicatrisants encapsulés depuis plus de 200 ans

Pour colmater les fissures du béton, Jonkers a choisi des bactéries (*Bacillus pseudo-rmus* et *B. cohnii*), capables de produire biologiquement du calcaire. Effet secondaire positif de cette propriété : les bactéries consomment de l'oxygène, ce qui empêche la corrosion interne du béton armé. Cependant, les bactéries ne présentent aucun risque pour la santé humaine, car elles ne peuvent survivre que dans les conditions alcalines à l'intérieur du béton. Sur la base de ces découvertes, Jonkers et son équipe de chercheurs ont développé trois mélanges de béton bactérien différents : du béton auto-cicatrisant, du mortier de réparation et un système de réparation liquide.

Dans le béton autocicatrisant, le contenu bactérien est intégré lors de la construction, tandis que le mortier de réparation et le système liquide n'entrent en jeu que lorsque des dommages aigus se sont produits sur les éléments en béton. Le béton autocicatrisant est la plus complexe des trois variantes. Les spores bactériennes sont encapsulées dans des boulettes d'argile de deux à quatre millimètres de large et ajoutées au mélange de ciment avec de l'azote, du phosphore et un agent nutritif séparés. Cette approche innovante garantit que les bactéries peuvent rester dormantes dans le béton jusqu'à 200 ans. Le contact avec les nutriments ne se produit que si l'eau pénètre dans une fissure - et non lors du mélange du ciment. Cette variante est bien adaptée aux structures exposées aux intempéries, ainsi qu'aux points difficiles d'accès pour les réparateurs. Ainsi, le besoin de réparations manuelles coûteuses et complexes est éliminé.

- Une méthode de prévention durable pourrait révolutionner la production de béton

Ces dernières années, le béton bactérien a été soumis à des tests d'endurance dans diverses conditions externes sur un bâtiment d'essai dédié à Breda, aux Pays-Bas. Des plans sont en place pour lancer le matériau d'auto-guérison sur le marché cette année. L'invention de Jonkers a le potentiel de réduire considérablement les dépenses d'entretien des ponts, des tunnels et des murs de soutènement, qui coûtent actuellement de 4 à 6 milliards d'euros chaque année dans la seule UE. Jonkers travaille actuellement sur une technique alternative d'encapsulation bactérienne. Par rapport à la méthodologie actuelle de revêtement de particules, cette technique permettrait de réduire les coûts de production du béton bactérien de 50 % supplémentaires. Alors que les coûts de production du béton conventionnel s'élèvent à 80 euros par mètre cube, un mètre cube de béton autocicatrisant coûterait entre 85 et 100 euros avec le nouvel agent cicatrisant encapsulé. Avec des coûts de réparation et de remplacement nettement inférieurs sur la durée de vie d'un bâtiment, cet investissement légèrement plus élevé serait rapidement amorti pour toutes les structures en béton.»

Source : <https://www.giatecscientific.com/education/bio-concrete/>

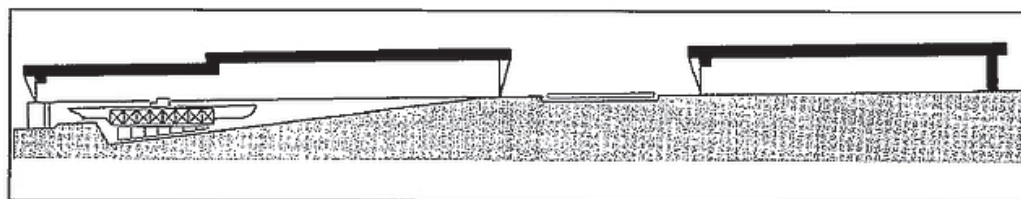


## ANNEXE II : généralités des bases sous-marines

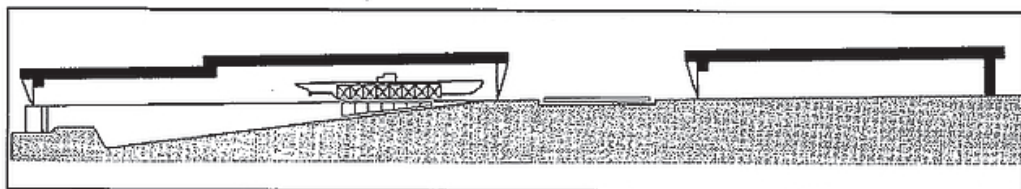
### 1. Fonctionnement du slipway ou rampe de mise à l'eau

Slipway : De l'anglais « to slip » glisser et « way » route, voie, c'est un plan incliné qui permet de hisser les navires hors de l'eau. Cette technique était utilisée pour la mise à l'eau des bateaux neufs ou après un entretien. Ce procédé a précédé l'apparition des sous-marins et a été utilisé dans deux des cinq bases françaises : Lorient et la Rochelle. Ce dispositif, ingénieux et inédit, permet d'extraire les sous-marins de l'eau et de les conduire à l'abri dans leur alvéole.

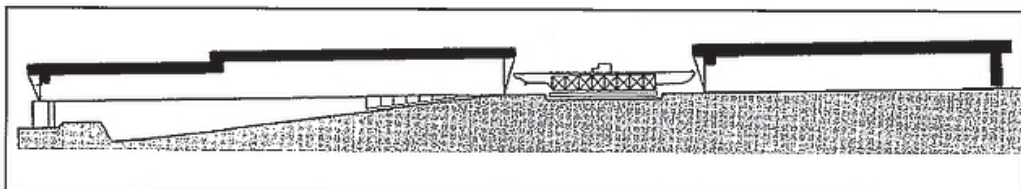
PHASE 1



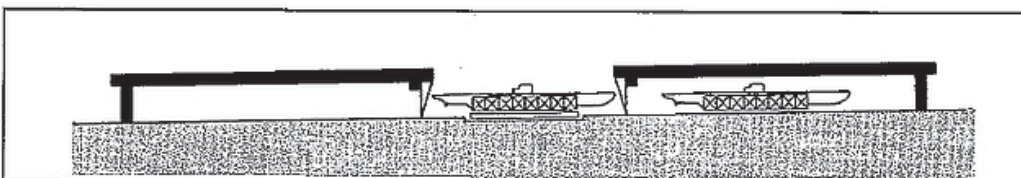
PHASE 2



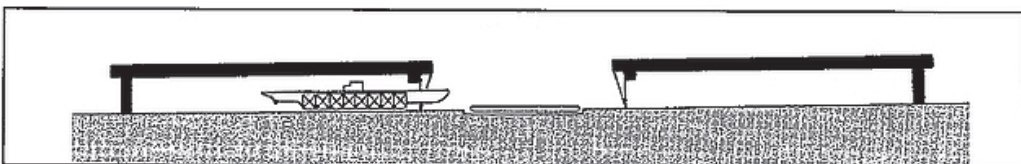
PHASE 3



PHASE 4



PHASE 5



«Fonctionnement du slipway :

Phase 1

- Durée : 15 minutes.
- L'U-Boot entre dans le slipway dont la porte est fermée.
- L'eau du slipway est pompée et rejetée à la mer.
- À l'aide du pont roulant, l'U-Boot est placé sur un bâti fixé sur le chariot du slipway.

Phase 2

- Durée : 15 minutes.
- Le chariot est hissé le long de la rampe.

Phase 3

- Durée : 10 minutes.
- Le chariot arrive en haut du slipway, le bâti quitte le chariot et s'engage sur le chariot transporteur.

Phase 4

- Durée : 10 minutes.
- Le chariot transporteur se déplace latéralement sur l'esplanade.

Phase 5

- Durée : 10 minutes.
- Le chariot transporteur se positionne devant l'alvéole choisie.
- Le bâti quitte le chariot transporteur et amène l'U-Boot dans l'alvéole.

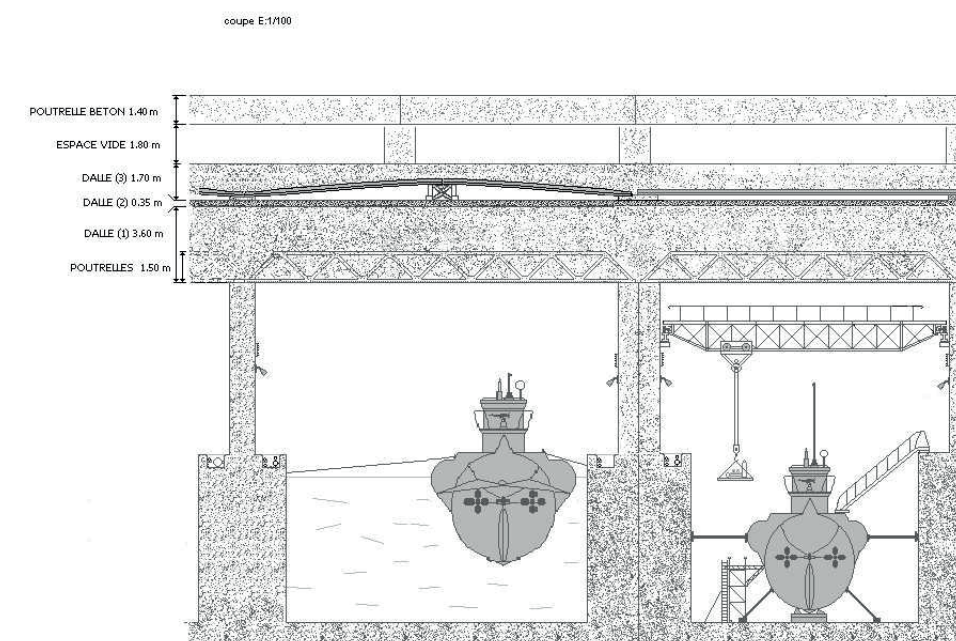
- Pour la remise à flot, la manœuvre inverse se déroule.»

Source : [http://www.u-boote.fr/keroman\\_slip.htm](http://www.u-boote.fr/keroman_slip.htm)

### 2. Cale sèche et à flot

«Les bases de Brest, Saint-Nazaire, La Rochelle et Bordeaux, disposent de sites avec accès direct à l'eau et avec l'architecture typique en peigne alternant bassins à flots et bassins secs.»

Source : [http://www.u-boote.fr/int\\_ub2.htm](http://www.u-boote.fr/int_ub2.htm)





ANNEXE III : généralités des bases sous-marines : les toitures

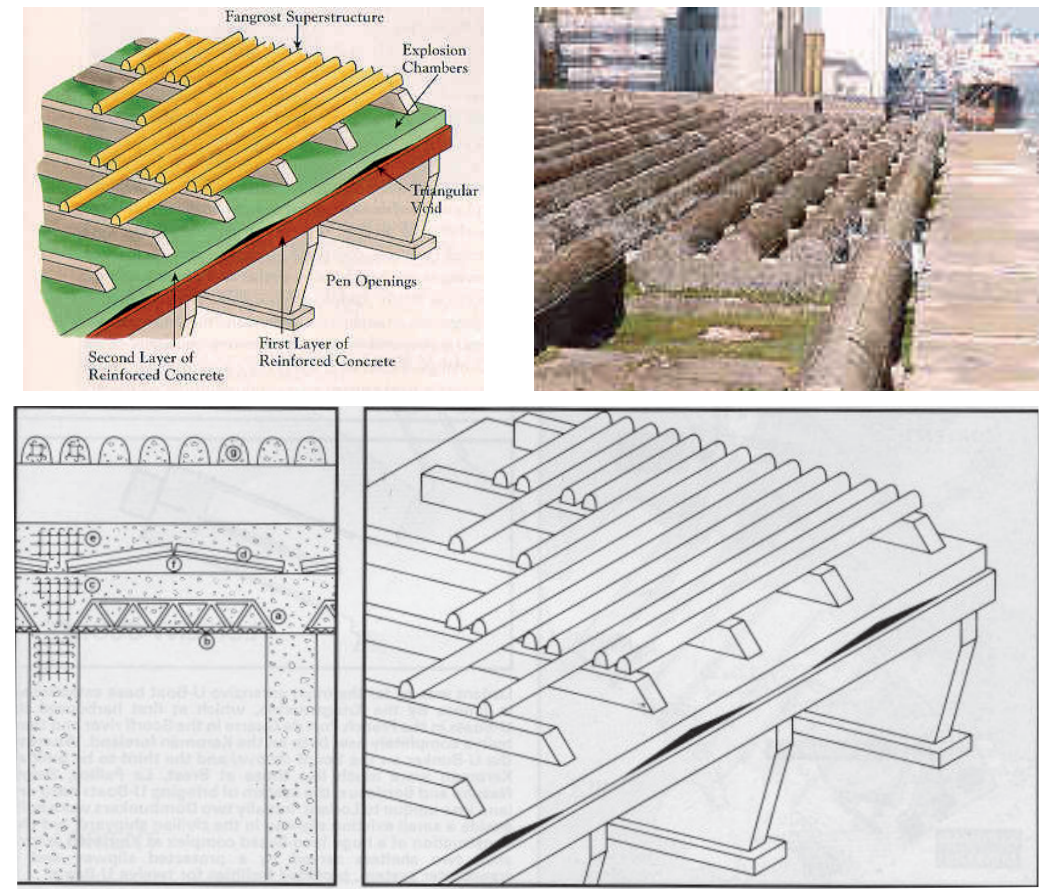
1. le toit normal

2. le toit Frangrost

«Afin de protéger les sous-marins de la puissance croissante des bombes et notamment des bombes aériennes sismiques appelées Tallboy (6,4 m de Long, 1 m de large d'un poids de 5,5 tonnes dont 2,4 d'explosif), les toits des bases de sous-marins ont été totalement ou partiellement recouverte d'une couche supplémentaire aux trois mètres de béton armé déjà présent. Cette couche ajoutée porte le nom de structure « Fangrost ». Cette structure, faite de poutres de béton parallèles surélevées par rapport au toit, permettait de faire exploser les bombes avant qu'elles n'atteignent le toit de la base. Les toits des alvéoles étant tellement épais, avec plusieurs strates d'espaces pare-souffle, les dégâts sont minimes.

Le toit de la base est composé d'une dalle de 3.5m d'épaisseur (c) renforcée par une deuxième dalle de béton munie de chambres d'explosion (f). Cette épaisseur de protection avait pour objectif d'amortir les effets d'une explosion et de protéger la première dalle de béton. C'est à partir de 1943 que les Allemands commencent la construction de la structure «fangrost». Cette structure, faite de poutres de béton parallèles posées à 2.10 m au-dessus des dalles de béton, permettait de faire exploser les bombes avant qu'elles n'atteignent le toit de la base. Les travaux s'achèvent à l'été 1944. Le toit a alors une épaisseur totale de plus de 9m.»

Source : <https://historyarticles.com/gray-wolves-den/>



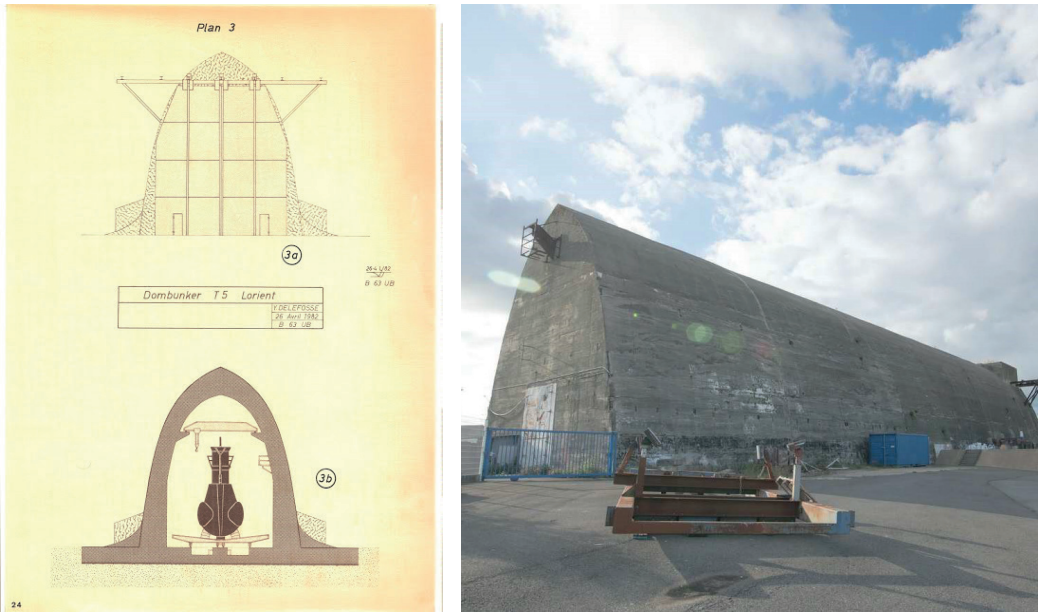
3. le toit à bloc



Toiture à bloc de la base de Lorient.  
Source : <https://journals.openedition.org/insitu/312>

4. le toit en ogive - Les Dom bunkers

«Les toits en ogive ont été conçus pour dévier naturellement l'impact des bombes.»



Source : <https://www.memoire-et-fortifications.fr/fortifications/les-fortifications-allemandes/la-base-sous-marine-de-lorient/>



## ANNEXE IV : les bases sous-marins à l'étranger

*L'ensemble des informations suivantes sont tirées du site : <http://www.u-boote.fr/>*

### 1. Norvège

#### a. Trondheim

«- Début 1941 l'Organisation Todt est chargé par le Haut Commandement de la Wehrmacht de construire le premier bunker sous-marin norvégien commandé par le Führer à Trondheim.

- Le but principal du bunker est de fournir des installations de réparation.
- La protection contre les raids aériens est assurée par trois installations de 'Flak' de 20mm sur le toit du bunker.
- Les ordres de construction du bunker sont donnés au début de 1941 et il fallut 27 mois pour achever les travaux. Plusieurs milliers de travailleurs sont impliqués, dont environ 800 prisonniers de guerre soviétiques utilisés comme travailleurs forcés.

- Après la fin de la Seconde Guerre mondiale, «Dora I» est repris par la marine norvégienne, qui l'utilise comme bunker pour sous-marins jusqu'en Juillet 1955.

- De nos jours DORA I abrite des dépôts et un parking à étages.

- Le bunker est un bon exemple de la façon dont ces structures peuvent être utilisées à des fins civiles. Il est utilisé comme entrepôt depuis les années 1950.»



#### b. Bergen

«- Peu après l'invasion de la Norvège en 1940. Les Allemands établissent des bases navales dans plusieurs ports, par exemple à Trondheim et à Bergen. Ce dernier est l'un des plus importants pour y effectuer des ravitaillements et des réparations.

- Au printemps 1941, la Marine commence à planifier un U-Bunker à Bergen, en choisissant une petite baie à l'Ouest de la ville.

- En Mai 1942, les travaux de construction d'un U-Bunker au port norvégien commencent. L'U-Bunker est construit sur un affleurement rocheux.

- Au milieu de l'année 1944, les premiers sous-marins entrent dans l'U-Bunker et, à partir de Décembre de la même année, la pleine exploitation peut commencer.

- Matériaux employés : 350000 tonnes de gravier, 68000 tonnes de ciment, 10000 tonnes de fer, 15000m3 de bois, 3000 tonnes de combustible, 150 tonnes d'explosifs et 1500 tonnes de charbon et briquettes

- Les travaux d'agrandissement et d'amélioration du bunker se poursuivent tout au long de la guerre. Au fur et à mesure que l'importance de la base des sous-marins de Bergen augmente, la détermination des Alliés à la détruire l'était aussi.

- Le premier raid de bombardement majeur, comprenant plus de 130 bombardiers de la RAF, a lieu le 04 Octobre 1944. Bien que le raid de la RAF cause des destructions considérables dans la région et de lourdes pertes civiles, ses effets sur les bunkers sont minimes. Des coups directs sont obtenus, mais aucun ne réussit à pénétrer l'épaisse coque en béton armé.

- L'U-Bunker de Bergen survit intact à la guerre. L'U-Bunker n'est alors terminé qu'à 85%. A la fin de la guerre, il manque le mur d'extrémité côté mer de l'alvéole G et une partie du plafond.

- Peu après la guerre, les Royal Engineers font sauter les murs latéraux de des alvéoles D - F et des parties des murs de l'alvéole C, et la marine norvégienne s'installe dans les vestiges du bunker dès la fin des années 1950.

- Les deux alvéoles asséchables intactes sont utilisées pour les sous-marins norvégiens, l'alvéole C était en grande partie bloquée par des débris de plafond, mais il semble possible d'utiliser la cale.

- Au début, la marine norvégienne évite les coûts importants du projet, mais aujourd'hui, la troisième alvéole est également utilisée par la marine norvégienne. La zone détruite des alvéoles D à F est remplie jusqu'au niveau du quai et aménagée en quai. Toutes les salles d'atelier sont encore utilisées.»



## c. Narvik

«- À Narvik, la plupart des moyens logistiques sont à bord de navires, en partie à cause des dégâts causés à la ville pendant les combats d'Avril et Mai de l'année 1940 lorsque la flotte britannique a bombardé Narvik depuis le fjord pendant la journée alors que les Allemands effectuaient des bombardements de nuit. Les usines de minerai, les quais, les wagons et les équipements sont mis en pièces avant que les Allemands ne se retirent de la ville. Les impacts d'obus des navires et de l'artillerie britanniques sur la terre ferme causent également des dommages considérables. Certaines parties de la ville sont presque brûlées. Lorsque les Alliés se retirent de la ville, tout ce qui a une importance militaire est détruit à nouveau, tandis qu'au même moment les bombardiers allemands dévastent le centre ville.

- Pendant la guerre, Narvik est agrandie par les Allemands en une base militaire massive. Dans la direction de l'Ofotfjord, il y a, entre autres, une batterie côtière avec trois canons de 28 cm, qui se trouvent dans des tunnels creusés dans la montagne. Seuls les tubes des canons sont visibles depuis la mer. La ville est également défendue par de nombreuses batteries de défense aérienne légères et lourdes. Dans la baie de Narvik, côté ville, la zone portuaire est en outre sécurisée par des filets anti-sous-marins et des torpilles. À Narvik, l'U-Bootwaffe a son propre navire de commandement, des navires d'escorte, des navires-ateliers et des pétroliers, qui approvisionnent les sous-marins en carburant. Ces bateaux ne sont pas amarrés dans le bassin du port, mais dans les fjords et les mouillages autour de la ville.

- Les Allemands entretiennent leurs propres hôpitaux militaires à Narvik, en plus des nombreuses écoles de la ville, qui servent d'hôpitaux de campagne. Au cours de l'été 1942, sept médecins de la Marine sont en service à Narvik, dont le Dr Wilhelm Pettker qui est le médecin-chef de l'état-major de la Réserve de la Marine. Le commandant local vit à l'hôtel Victoria, tandis que les officiers allemands sont logés dans le Grand Hôtel Royal. L'organisation Todt Heeres-Baudienststelle, le commandant de la marine, la Gestapo ainsi que des représentants du commissaire du Reich sont également présents dans la ville.»

## 2. Allemagne

### a. Brême

«- Au printemps 1944, la direction du chantier Weser est chargée de transformer le quai de construction en un chantier naval de fabrication de sections de Type XXI, et Hermann Möller de Wilhelmshaven, est engagé en tant que société exécutante.

- Construit sur la rive Nord de la Weser à Brême, ce complexe est mis en service au début de 1944. La construction est faite par des travailleurs forcés (prisonniers de guerre et prisonniers de camps de concentration).

- Il s'agit essentiellement d'un complexe de construction abrité qui est utilisé (avec le bunker Valentin beaucoup plus grand) pour construire l'U-Boot révolutionnaire de Type XXI.

- À l'extrémité Est du bunker, qui se trouve sur un axe Est-Ouest, une ligne d'assemblage pour la production des sections est prévue, tandis que la partie centrale du complexe se compose de deux cales sèches pour les travaux de réparation.

- Cette partie reliée à la section la plus à l'Ouest qui se compose de deux alvéoles à flot (mais pouvant être asséchées pour les travaux en cale sèche), chacune peut abriter deux U-Boote de Type XXI.

- Le 30 Mars 1945, un raid de bombardement de l'USAAF détruit une grande partie de la construction, qui n'a jamais été achevée.

- Alors que tous les U-Bunkers d'Hambourg, de Kiel et Helgoland sont détruits par les britanniques dans le cadre de la démilitarisation, les américains responsables de Brême ne le font pas.

- Peu après la fin de la guerre, le bunker revient à la ville de Brême. Le Bremer Hafenbauamt veut éliminer le bunker, mais le coût est trop élevé. Un plan pour transformer le quai est prévu. Ce plan n'est réalisé que partiellement dans les années 1950.

- En 1968 et 1969, l'entreprise de logistique Lexzau, Scharbau, a construit un bâtiment de bureaux plus grand sur le côté est du bunker sur une partie de la zone de chevauchement existante.»



## b. Kiel

«- L'U-Bunker est construit pour protéger les U-Boote nouvellement construits avant qu'ils ne soient affectés à leurs flottilles opérationnelles, ainsi que pour les réparations des bateaux opérationnels et d'entraînement.

- 1200 hommes vont travailler en deux équipes 24/24h pendant toute la durée du chantier. Ces hommes sont des travailleurs forcés et prisonniers de guerre. Le taux de mortalité parmi les travailleurs est très élevé car il n'y a aucun abri prévu pour eux lors des bombardements.
- C'est le seul U-Bunker à pouvoir mettre des U-Boote l'un derrière l'autre.
- C'est le seul à avoir été totalement terminé.
- Il y a depuis 1941 de nombreux bombardements sur Kiel, l'U-Bunker n'est que très peu endommagé alors que la ville est dévastée.- La structure en béton du bunker est restée intacte et a survécu à la guerre. Les derniers U-Boote qui s'y trouvaient sont sabordés ou détruits à la fin de la guerre.
- Les travaux de démolition du bunker Kilian à Kiel commencent en Septembre 1945, lorsque les troupes du Royal Engineers commencent à préparer le dynamitage de la structure.
- Plusieurs semaines ont été consacrées à percer des centaines de trous dans la structure en béton et à les remplir d'explosifs. Comme pour le bunker Fink II, une quantité de bombes inutilisées de la Luftwaffe a également disposé à l'extérieur.
- L'explosion qui en a résulté fait s'effondrer le mur de séparation entre les deux alvéoles et fait tomber le toit, écrasant les restes du bateau de l'U-4708 encore à l'intérieur.

- Les ruines sont laissées dans cet état jusqu'en 1959, date à laquelle un entrepreneur civil allemand effectue d'autres travaux de déminage.
- Cependant, il reste encore beaucoup de preuves visibles de la présence du bunker. Bien que le toit et les murs n'existent plus et que la majeure partie de la zone des alvéoles soit inondée et généralement utilisée comme dépotoir, à marée basse, on peut voir les restes des parties inférieures des murs et une partie de la zone arrière de l'atelier qui est debout.
- Les piliers verticaux de l'entrée du parc le plus méridional sont encore visibles, tout comme le quai qui sépare les deux alvéoles, bien qu'il y ait maintenant beaucoup de végétation.
- Depuis la fin des années 1990, les vestiges de Kilian sont ouverts au public, avec des visites guidées disponibles sur demande.
- Par la suite, certains veulent classer les vestiges comme monument historique, mais finalement ils sont dynamités en 2000 pour agrandir le port. L'U-Bunker n'est plus visible, mais les restes sont présents dans le fond du port.»

## c. Hambourg

«- L'U-Bunker "Fink II" est le plus grand bunker construit sur le sol allemand, il est également construit à Hambourg, comme "Elbe II".

- L'U-Bunker est construit sur des terres sèches dans les chantiers navals allemands, puis une grande zone triangulaire est creusée entre elles et l'estuaire de l'Elbe et la zone ainsi créée est inondée.
- 55000 m<sup>3</sup> de mouvement de sol en dragage à sec, 50000 m<sup>3</sup> de terre excavée en dragage et la mise en place d'une capacité d'environ 1000 m<sup>3</sup> et 55000 m<sup>3</sup> de béton armé ont été nécessaires.
- En plus de la construction de l'U-Bunker, le canal de Rüsch est considérablement agrandi pour créer un bassin portuaire suffisamment grand devant "Fink II".
- La structure se compose initialement de quatre alvéoles, toutes d'une longueur d'un peu plus de 111 mètres. La première a une largeur de 27,5 mètres et les trois autres alvéoles ont chacune 22,5 mètres de largeur.
- La cinquième alvéole est approuvée en Septembre 1942 et sa construction débute en Avril 1944. Cette alvéole a la même largeur que l'alvéole n°1 et est construite légèrement plus haut que les alvéoles d'origine, de sorte que son toit peut être soutenu par le bord de la quatrième alvéole.
- L'U-Bunker peut accueillir jusqu'à 15 bateaux, dont trois côte à côte dans chaque alvéole.
- Fink II est principalement destiné à abriter les U-Boote construits dans les chantiers adjacents lors de l'aménagement, de la réparation ou de la remise en état.
- Au total, 13000000 m<sup>3</sup> de béton armé ont été utilisés pour la construction du "Fink II". Il a un poids d'environ 263000 tonnes.
- La protection contre les bombardements à basse altitude est assurée par trois positions de 3,7 cm 'Flak' sur le toit du bunker.
- L'U-Bunker n'a pas subi de bombardements particulièrement graves jusqu'en Avril 1945, date à laquelle il a subi deux attaques distinctes. En raison de la puissance de détonation massive des bombes, des trous sont ouverts dans le plafond. Presque tout ce qui se trouve sur le toit est détruit. Dans les alvéoles elles-mêmes, les dégâts sont causés par la chute des débris de béton.
- L'U-Bunker sert également d'abri pour la population civile alentour. Le 09 Avril il y a 3000 personnes. Au total il y a 15 morts, 39 blessés graves et 38 blessés légers.
- La structure massive survit et à la fin à la guerre est pratiquement intacte.
- Le 17 Octobre 1945 : l'U-Bunker Fink II intact est utilisé par les Royal Engineers pour 'faire d'une pierre deux coups'.
- L'U-Bunker est rempli de plus de 30,3 tonnes de bombes allemandes (100 bombes SC de 250 kg et 200 bombes SC de 50 kg et 89 bombes explosives pesant entre 22 et 180 kg), non explosées provenant de magasins de la 'Luftwaffe' qui sont tombées entre les mains des Britanniques et qu'il faut éliminer en toute sécurité.
- L'explosion de ces munitions débarrasse les Britanniques de cette matière dangereuse et cause également l'effondrement du bunker, faisant tomber le toit et brisant les murs.
- D'autres travaux de démolition sont effectués après que la ville de Hambourg ait autorisé la dépollution du site en 1949.
- Dans les années 1970, la célèbre entreprise Deutsche Werft, sur le terrain de laquelle se trouve l'U-Bunker, a succombé à la récession mondiale générale.
- L'ensemble du site, y compris la zone du bunker, est nettoyé, et il ne reste que quelques petits bâtiments, toutes les traces de "Fink II" ont été enlevées.
- La zone a été engazonnée et est maintenant une installation de loisir ouverte au public.»

## d. Heligoland

- «- Déjà pendant la Première Guerre mondiale, Helgoland a été agrandi pour servir comme base allemande avancée en mer du Nord.
- Après la guerre en grande partie détruite, la reconstruction du "Marinehafen" (Port naval) fut réalisée au printemps 1936.
  - La planification et les premiers préparatifs pour la construction d'un grand port de flottille sur Helgoland sont effectués en 1937. Au début de la guerre en 1939, le plan de la flotte portuaire est à nouveau abandonné. L'île ne doit être utilisée que comme base sous-marine avancée.
  - Dès 1939, des plans sont élaborés et en 1940 les travaux sont bien avancés. La construction s'achève en Juin 1941.
  - Le bunker est plutôt modeste, il est situé dans le bassin Est du port d'Helgoland.
  - Moins important pour la guerre des sous-marins que de nombreux autres complexes de bunkers, Nordsee III n'attire pas beaucoup l'attention des bombardiers alliés jusqu'à la fin de la guerre.
  - Après les débarquements alliés en Normandie en juin 1944, le bunker du Nordsee III devient un point d'arrêt pour les sous-marins de poche de type "Seehund" .
  - À partir de la fin de 1944, cependant, l'USAAF et la RAF commencent à organiser des raids contre Helgoland.
  - Un total de six raids majeurs sont lancés contre le complexe entre 1941 et 1945, le raid de la RAF du 18 Avril 1945 implique plus de 960 bombardiers.
  - Un raid final le jour suivant voit seulement 36 bombardiers larguer 22 bombes de 'Tallboy' et des 'Grand Slam'. L'U-Bunker subit des dommages importants pendant l'une de ces attaques et est encore complètement intact à la fin de la guerre.
  - Les bunkers sur Helgoland sont encore relativement intacts à la fin de la guerre, ainsi que d'autres structures défensives (emplacement des armes à feu, etc.). Beaucoup sont détruits ou gravement endommagés, bien qu'un certain nombre d'armes puissantes restent en opération. Au moment de la cessation des hostilités, plus de 4 500 Allemands, dont plus de 1 100 travailleurs civils, se trouvent encore sur l'île de la forteresse.
  - La plupart du personnel militaire est ensuite évacué vers le continent, ne laissant qu'une petite équipe de transfert, qui officiellement remet les fortifications d'Helgoland à l'Amiral Gould de la Royal Navy le 02 Mai 1945.
  - Suite à la décision des puissances occupantes de démilitariser l'Allemagne, en Août 1945, une force spéciale d'ouvriers de démolition, pour la plupart allemands et sous le commandement d'un officier de la Royal Navy, commence à préparer la démolition de toutes les structures restantes, y compris les bunkers des sous-marins. Des milliers de tonnes d'explosifs sont expédiées sur l'île et ajoutées aux énormes quantités de munitions inutilisées qui se trouvaient déjà sur place. Les bunkers survivants sont remplis de munitions et d'explosifs.
  - Le 18 Avril 1947, les préparatifs de l'opération "Big Bang" sont achevés et tout le personnel se retire de l'île. À partir d'un navire de guerre britannique qui se trouve à quelque neuf nautiques au large, les explosifs sont mis à feu. L'explosion résultante est entrée dans les livres des records comme la plus grande explosion non atomique de l'histoire. Les bunkers sont totalement détruits. Il ne reste pas grand-chose, bien qu'une tour ait été transformée en phare.
  - En 1952 la population civile rejoint de nouveau l'île. Il y a encore environ 80000 m³ de gravats à déblayer. Ces travaux vont durer de 1952 à 1954. Les matériaux récupérés ont servi à construire des môles.»