



## Réparations des bétons dégradés du bunker K2 de la base sous-marine de LORIENT



## Présentation du site

## Présentation des travaux

## Aspects techniques

## Points clés

## Conclusion

Erigée en 1941, la base sous-marine de Lorient, aussi appelée base **KEROMAN** c'est :

- Le **patrimoine béton** le plus important construit en Europe

*1 000 000 m<sup>3</sup> de béton coulé en place , 40 000 m<sup>2</sup> de coffrage bois, 15 000 à 20 000 ouvriers, 20 mois de chantier ...*

- Le siège de la « **Sailing Valley** » : activité économique, touristique et culturelle majeure  
*110 entreprises, 1500 emplois, 215 millions de chiffre d'affaires, Port d'attache de multiples team (Groupama , Gitana)*
- Un site **labellisé Patrimoine XXe siècle** & certifié Natura 2000 et ISO14001



Démarrés en Octobre 2016, les travaux visent 3 objectifs :

- 1 - **Sécuriser** les abords du site pour les usagers  
*déposer les 8000 m<sup>2</sup> de filet de protection installés par la marine française  
sonder l'ensemble des 9800 m<sup>2</sup> de façade et purger les éléments instables*

Présentation du site

Présentation des travaux

Aspects techniques

Points clés

Conclusion



Démarrés en Octobre 2016, les travaux visent **3** objectifs :

- Sécuriser les abords du site pour les usagers
- 2 - Améliorer la **durabilité** et **l'étanchéité** du bâtiment
  - analyser les diverses pathologies et traiter les désordres avec cohérence*
  - nettoyer les façades sans altérer l'épiderme du béton*
  - garantir la qualité et la pérennité de nos réparations*
  - appliquer un traitement surfacique fonctionnel et chromatique*



Présentation du site

Présentation des travaux

Aspects techniques

Points clés

Conclusion

Démarrés en Octobre 2016, les travaux visent 3 objectifs :



- Sécuriser les abords du site pour les usagers
- Améliorer la durabilité et l'étanchéité du bâtiment
- 3 - Conserver la **dimension esthétique** et **historique**
  - minimiser l'impact visuel de notre intervention pour ne pas dénaturer l'aspect mémoriel de l'ouvrage*
  - restaurer à l'identique là où les bétons sont dégradés*
  - enlever les stigmates post-seconde guerre*
  - réaliser des mesures chromatiques des bétons de l'ouvrage*
  - sauvegarder les peintures de camouflage d'époque*

Présentation du site

Présentation des travaux

Aspects techniques

Points clés

Conclusion



# Nettoyage surfacique du béton

## Objectifs :

- Nettoyer le support sans détériorer **l'épiderme du béton**  
*pas perte de poids surfacique lors du nettoyage*
- Désincruster des **polluants** de différentes natures  
*salissures organiques (algues, champignons, lichens)  
pollution de nature industrielle (Corps gras) et urbaine (Suies de combustion)*
- Retirer les **stigmates** post seconde guerre  
*peinture de type ( époxy, acryliques, vinyle ), Goudrons ( étanchéité )*
- Conserver les peintures de camouflage **d'origine**



Présentation du site

Présentation des travaux

Aspects techniques

Points clés

Conclusion

# Nettoyage surfacique du béton

## Solution

- Procédé de nettoyage **pelliculaire** à « haut rendement »  
*travail en eau surchauffée, maîtrise des pressions et températures*
- Nettoyage par **nébulisation** de surface
- Utilisation de **savon**
- **Ebauche** chimique (*Sans COV, législation Reach*)  
*diminution de la résistance du feuil des peintures*
- **Décapage** par hydro-gommage  
*utilisation de micro-fine 60 µ*



Présentation du site

Présentation des travaux

Aspects techniques

Points clés

Conclusion

## Nettoyage surfacique du béton

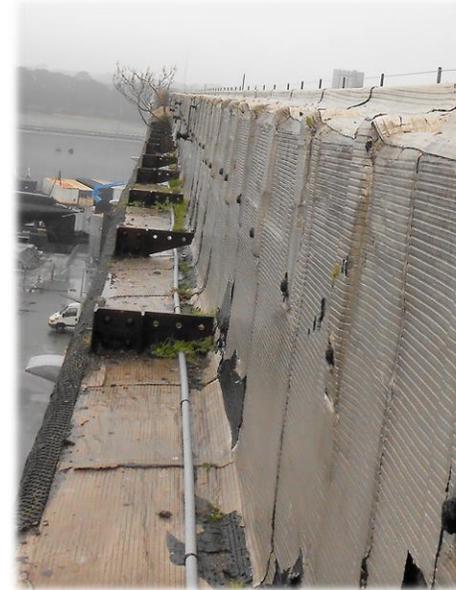
*Une peinture époxy avec une résistance de feuil élever à l'abrasion élevé*



*Micro-abrasion après une ébauche chimique*



*Dépose d'étanchéité de type PAX-ALU, gommage pelliculaire basse pression puis nettoyage vapeur*



Présentation du site

Présentation des travaux

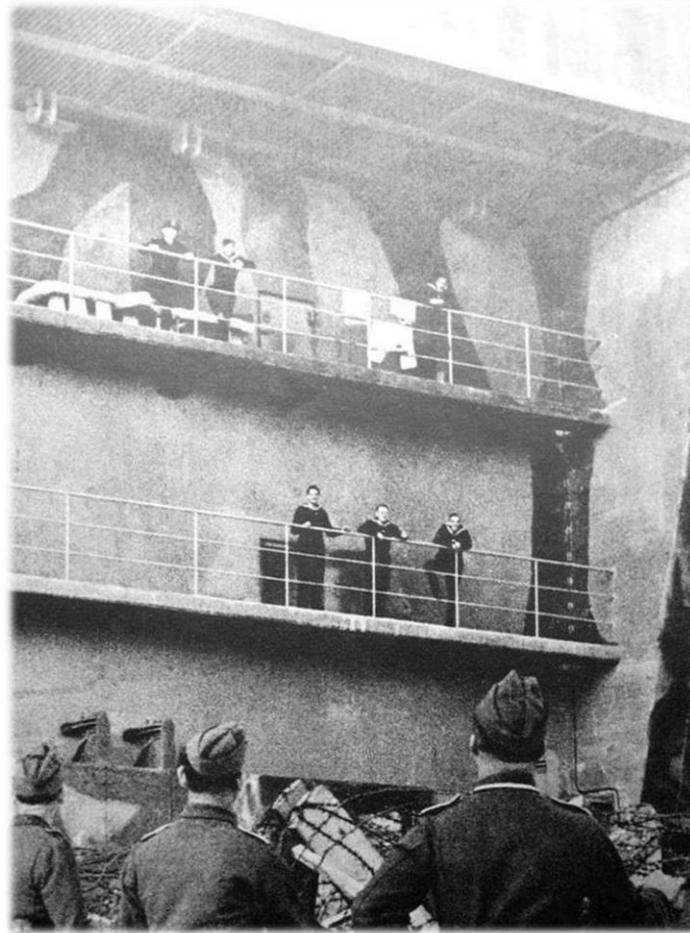
**Aspects techniques**

Points clés

Conclusion

## Nettoyage surfacique du béton

*Peinture de camouflage, façades sud, caserne des 1000*



*Détail d'une partie à restaurer*



Présentation du site

Présentation des travaux

**Aspects techniques**

Points clés

Conclusion

# Reconstitution surfacique des bétons

## Contraintes

- Se rapprocher au plus près des **bétons d'origine** pour respecter la dimension historique
- Tenir compte de **la composition** chimique et minéralogique du béton de l'ouvrage
- Minimiser **l'impact visuel** des réparations pour préserver la dimension esthétique
- Avoir des prescriptions techniques compatibles avec le principe de **réversibilité**

« *Autant que faire se peut* »

- Diagnostiquer les **désordres et pathologies**

*état chimique du support*

*Réaction Sulfatique Interne (RSI)*

*Réaction Alkali-Granulat (RAG)*

*oxydation des aciers (cartographie de potentiel électrique)*

- Analyser **leurs sources**

*localisation géographique*

*exposition des façades*

*réalisation de l'ouvrage*

*constitution des bétons*

*entretien de l'ouvrage*

*réparations antérieures*

*Après purge d'une réparation antérieure en mortier mâchefer*



Présentation du site

Présentation des travaux

**Aspects techniques**

Points clés

Conclusion

# Reconstitution surfacique des bétons

## Etudes et validations

- Recherche d'agrégats similaires, puis échantillonnages avec différents mélanges afin de réaliser des comparaisons « **physico-esthétiques** » (*squelette granulométrique, porosité, rapport E/C, résistivité, chromatique*)
- Choix du liant hydraulique permettant de répondre aux **exigences** des réparations, aux conditions d'applications et aux contraintes colorimétriques (*CEM ?, rhéologie, luminance*)
- Réalisation de différents coffrages pour retrouver les **matrices originelles** du parement de béton (*types de Planches de coffrage, saturé ou non*)
- Assurer la **durabilité** des réparations (*mise en œuvre, cure, pile induite*)



Présentation du site

Présentation des travaux

**Aspects techniques**

Points clés

Conclusion

# Reconstitution surfacique des bétons

## Reconstitution surfacique en enduit traditionnel

« Surface brute hors moule »

- Préparation des supports par purge mécanique de puissance **modérée** pour ne pas déchausser des zones de béton saines et/ou hydro démolition
- Réalisation des enduits **sur site** puis coulés ou projetés manuellement
- **Complexité d'approche** avec les enduits de rebouchage surfacique standards (*certificat de résistivité , complexité pour réaliser des estompes chromatiques, l'ouvrabilité pour la reconstitution des matrices*)
- **Choix de la technique** pour l'application et le matriçage (*Enduit taloché ou graissé ? Reconstitution frais sur frais? serrages excessifs avec la truelle! Appareillage des peaux de coffrage et impressions*)
- Réalisation de **cure** sur les enduits (*assurer la durabilité*)



Présentation du site

Présentation des travaux

Aspects techniques

Points clés

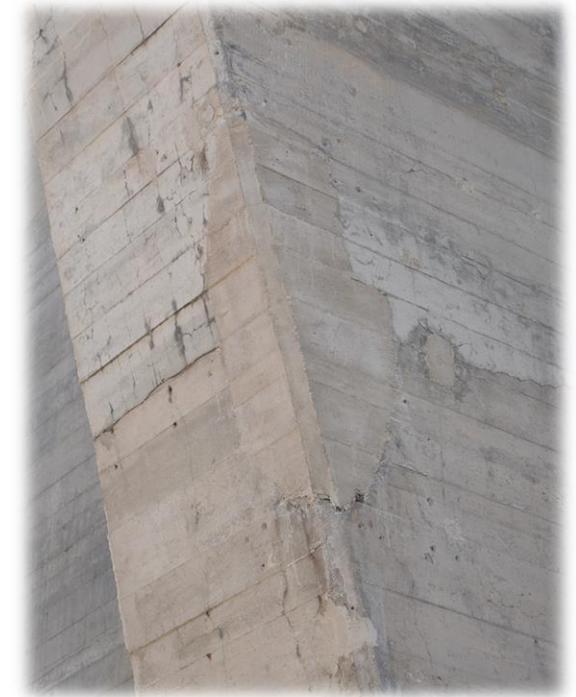
Conclusion

# Reconstitution surfacique des bétons

## Reconstitution surfacique en béton

« Surface contre-mouler »

- Mise en œuvre de coffrages grimpants avec pose de planches à l'avancement pour maîtriser le coulage, la bonne **cohésion** au support et le rendu esthétique après décoffrage
- Ensemble des bétons confectionnés sur place avec différents **squelettes granulométriques**
- Réalisation et bétonnage **régulier** pour respecter l'ensemble des planches de validation pendant la durée totale du chantier  
(contrôle du sable, hygrométrie, rapport E/C, météo)



Présentation du site

Présentation des travaux

**Aspects techniques**

Points clés

Conclusion

## Traitements électrochimiques

- Assurer la **durabilité** du béton en évitant la formation de phénomène de piles induites en périphérie des zones restaurées. Le but étant de limiter la création de spots de corrosion dans le périmètre des réparations par la mise en œuvre d'anode sacrificielle et hybride (*courant imposé temporaire puis galvanique*)
- La principale problématique du chantier a été le manque de **continuité électrique** entre les aciers, nous avons des problèmes de contact franc et avons du créer des shunts afin d'assurer le bon fonctionnement de la protection cathodique galvanique

Présentation du site

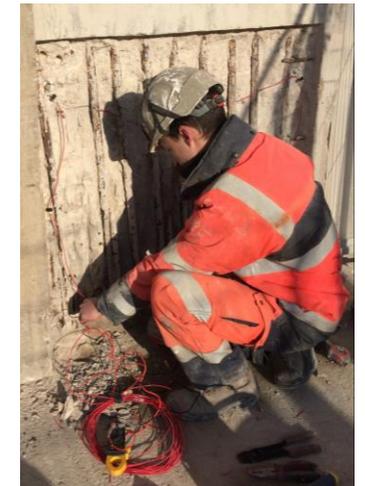
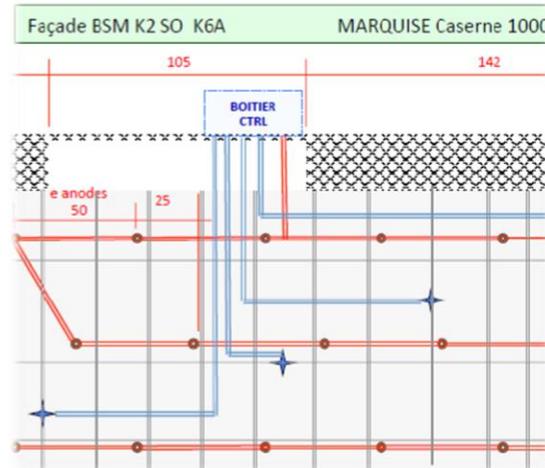
Présentation des travaux

Aspects techniques

Points clés

Conclusion

*Difficulté à vérifier les courts-circuit lors de la mise en œuvre des anodes discrètes*



## Pré-estompe localisée

### Irrégularités chromatiques

- Nous avons répertorié **différentes couleurs** de béton à l'aide d'un spectrocolorimètre  
*(Les bétons d'origine ont des écarts de teinte importants)*
- **Corriger** la chroma des reconstitutions quand nécessaire *(variable météo, cure, agrégats)*

*Façade avec 5 couleurs de béton d'origine hors reconstitutions*



Présentation du site

Présentation des travaux

**Aspects techniques**

Points clés

Conclusion

## Pré-estompe localisée

### Correction

- Travail de **vélature** à base de liant et pigment minéraux « a secco » (*après carbonations*)
- **Estompe** par patine, nuancage, voile de transparence, au gré des gradients chromatiques

*Après analyse au spectrocolorimètre et corrections*



Présentation du site

Présentation des travaux

**Aspects techniques**

Points clés

Conclusion

Présentation du site

Présentation des travaux

**Aspects techniques**

Points clés

Conclusion

## Estompe finale

- **Traitement surfacique**, par imprégnation, non filmogène des façades (*transfert vapeur respecté*)
- Amélioration de la **durabilité** du béton en limitant la pénétration d'eau (*phase H/S, brouillard salin*)
- Réalisation d'une **cohérence générale** en intégrant une fonction chromatique au traitement surfacique sans opacifier ou dénaturer le béton (*respect du patrimoine*)



## Traitement fonctionnel et chromatique

Présentation du site

Présentation des travaux

**Aspects techniques**

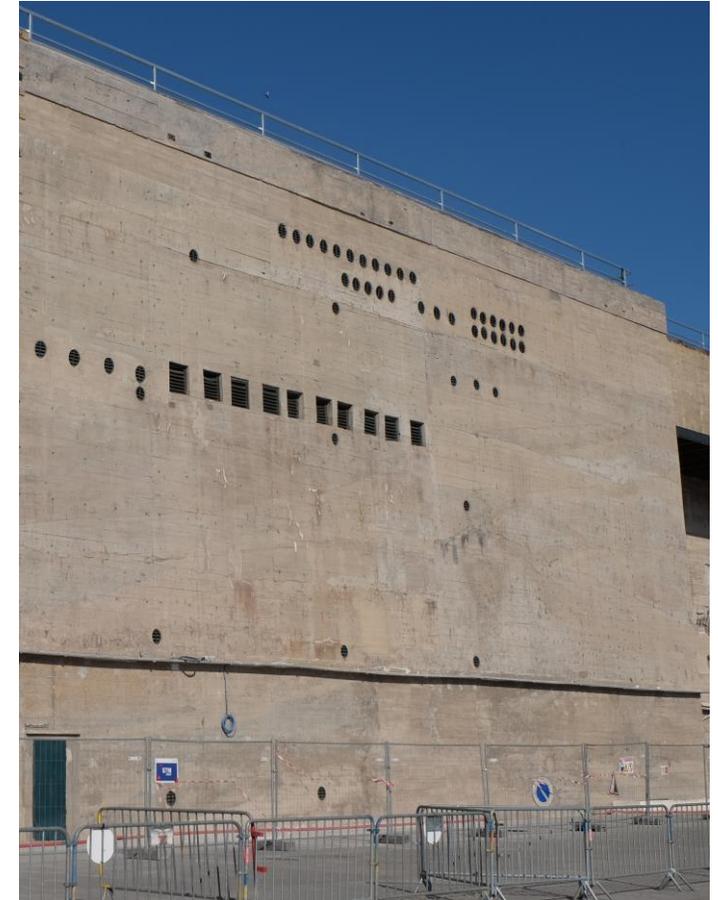
Points clés

Conclusion

*Avant intervention*



*Après restauration*



## Restauration des éléments métalliques

- Recherche historique sur la couleur « **Feldgrau** » avec différents éléments prêtés par le musée du FLORE
- Préparation de surface des supports acier : *Selon la norme **NF EN ISO 8504-01** travaux de préparation de surface sur acier brut corrodé décapage par projection d'abrasif de type Rugos 20/30 au degré de soin SA2.5 moyen G permet l'élimination complète de tout revêtement, corrosion et de retrouver la rugosité d'origine.*

*Mise en place de protections en périphérie des sablages pour altérer le béton →*



- Mise en peinture des éléments métalliques : **ACQPA : C5Ma ANV 934**  
*1 couche d'époxy riche en zinc à 40µm  
application de 4 couches d'époxy phosphate de zinc à 180µm  
application de 2 couches générales de polyuréthane à 80µm*



Présentation du site

Présentation des travaux

Aspects techniques

Points clés

Conclusion

## Mise en place de filets de protection en Inox

- Pose de plus de 1000 m<sup>2</sup> de **filet en inox 316L** en sous-face du plancher collaborant des façades
- Réalisation d'une **protection** contre la chute d'éléments oxydés du plancher collaborant et assurance d'une protection face à la nidification des Goélands et pigeons



*Afin de ne pas générer de pile électrochimique entre les ancrages inox de maintien des filets et les aciers du bâtiment.*

*La solution de la mise en place d'une **chaussette diélectrique en nylon** autour des plus de 1000 ancrages a été retenue.*



Présentation du site

Présentation des travaux

Aspects techniques

Points clés

Conclusion



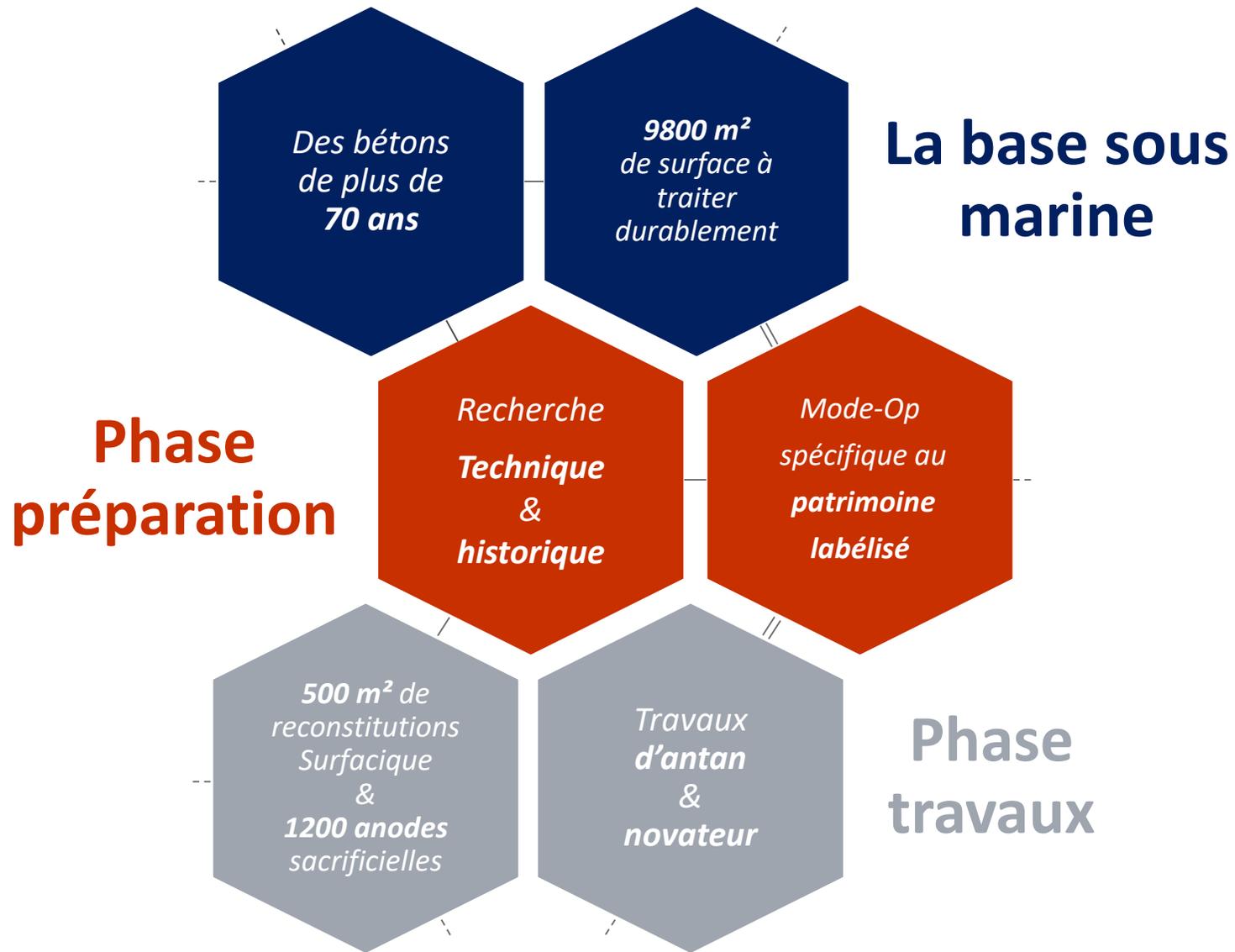
Présentation du site

Présentation des travaux

Aspects techniques

**Points clés**

Conclusion



Présentation du site

Présentation des travaux

Aspects techniques

Points clés

Conclusion

- **Conclusion**

- **Restauration d'un patrimoine labellisé XXe siècle**

*Intégration d'une dimension esthétique à des travaux de réparation (Nettoyage surfacique, Traitement chromatique)*

*Enrichissement d'un vocabulaire technique (Gradient chromatique, Velature, Architecture Brute)*

*Amélioration d'un savoir faire spécifique (Technique novatrice, Protection cathodique)*

*Philosophie de réalisation des travaux (Compagnonnage, Charte de Venise)*

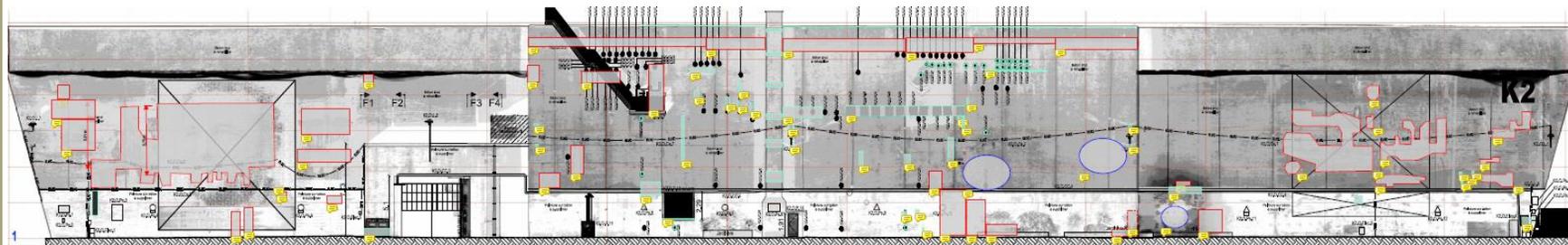


- **Plan Action Qualité**

*Enrichissement des modes opératoires de réparation en tenant compte des demandes des AMH*

*Perfectionnement des Plans Qualité Réalisation avec prise en compte des contraintes historiques et esthétiques des travaux*

*Digitalisation d'un plan de recollement journalier « dynamique » permettant à l'ensemble des collaborateurs d'intégrer ou d'annoter des remarques sur l'ensemble des reconstitutions surfaciques*



*Plan de recollement dynamique de la façade Ouest (SUD) de la BSM K2*

# Remerciements à l'auditoire

## Contacts :

**Nicolas GIRARD – Responsable de l'agence GTM Ouest Travaux spéciaux**

✉ Nicolas.GIRARD@vinci-construction.fr

📱 06 18 64 55 39

**Laurent LIVET – Conducteur de travaux principal**

✉ Laurent.LIVET@vinci-construction.fr

📱 06 03 93 68 68

**Philippe QUINZIN – Chargé de travaux**

✉ Philippe.QUINZIN@vinci-construction.fr

📱 07 85 66 35 82



## Article :

- <http://www.ouest-france.fr/bretagne/lorient-56100/le-lifting-en-beton-arme-de-la-base-de-sous-marins-de-lorient-4921863>