Matinée technique du STRRES

6 Décembre 2017

Travaux Spéciaux



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



Maîtrise d'œuvre et travaux de maintenance des ouvrages de génie civil

Lorient K2

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 m3 de béton coulé en place , 40 000 m² 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 m² de filet de protection installés par la marine française
  sonder l'ensemble des 9800 m² 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

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

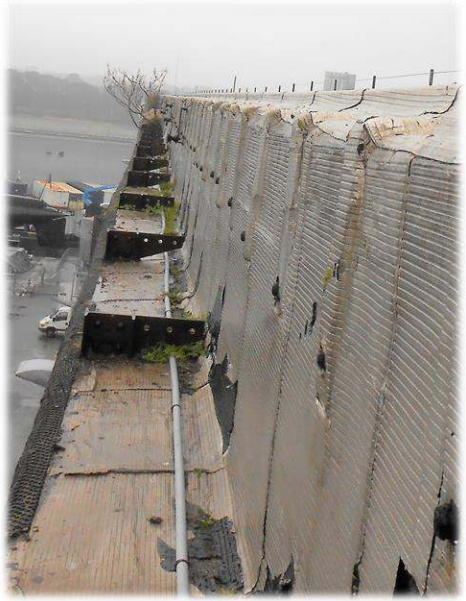
Une peinture époxy avec une résistance de feuil élever à l'abrasion élevé



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

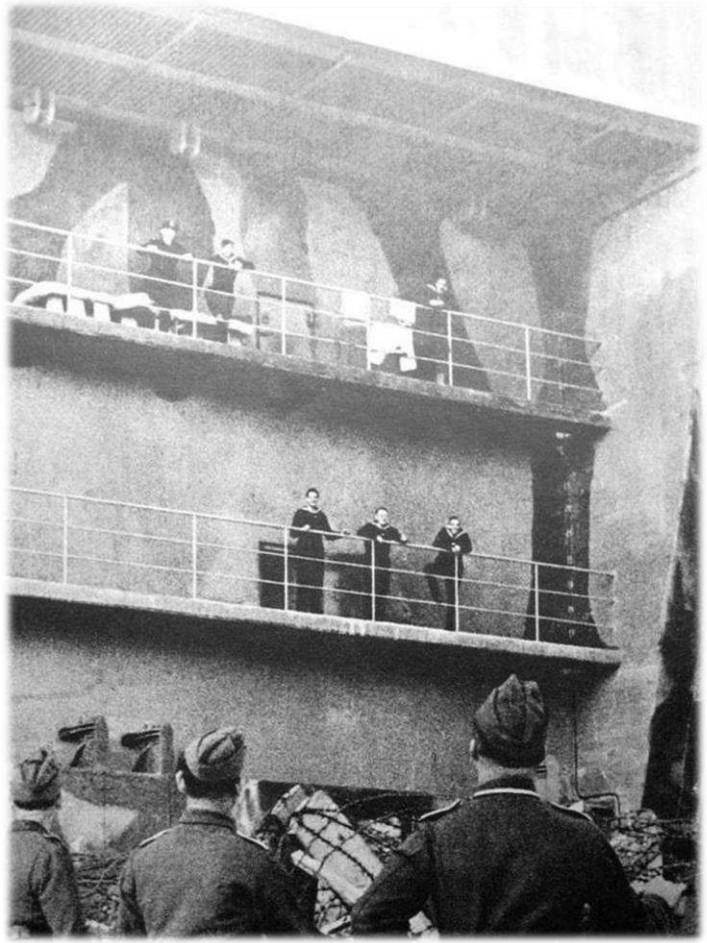
Aspects techniques

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 Alcali-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

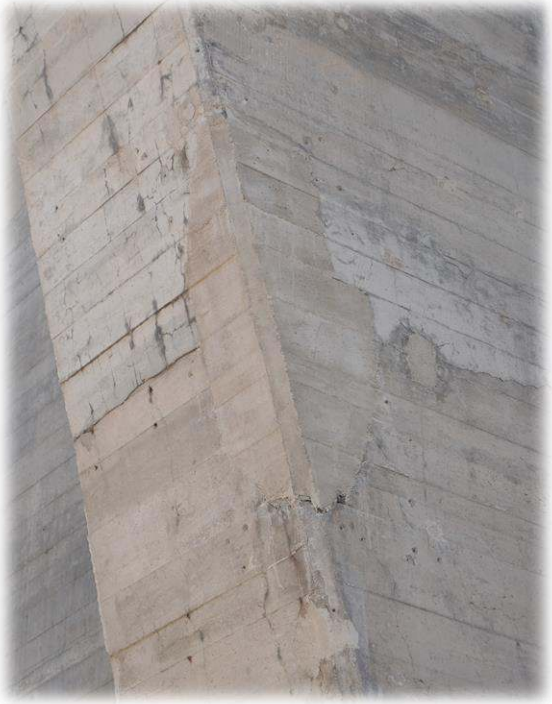
Reconstitution surfacique en béton

« 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

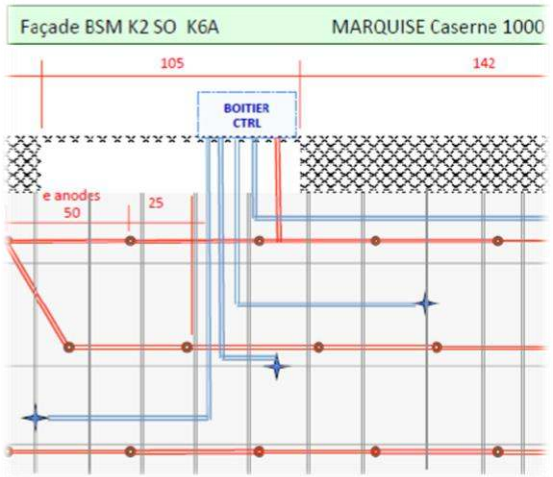
Points clés

Conclusion

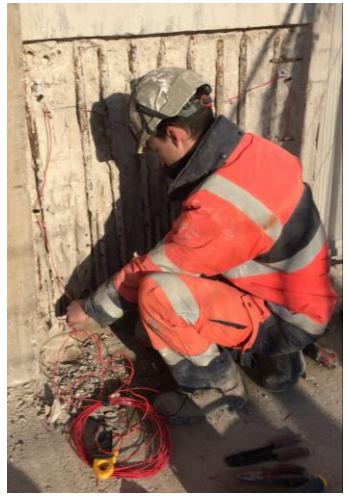
Traitements électrochimiques

- 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 avions des problèmes de contact franc et avons du créer des shunts afin d'assurer le bon fonctionnement de la protection cathodique galvanique

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







Présentation du site

Présentation des travaux

Aspects techniques

Points clés

Conclusion

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 spectrocolorimetre et corrections



Présentation du site

Présentation des travaux

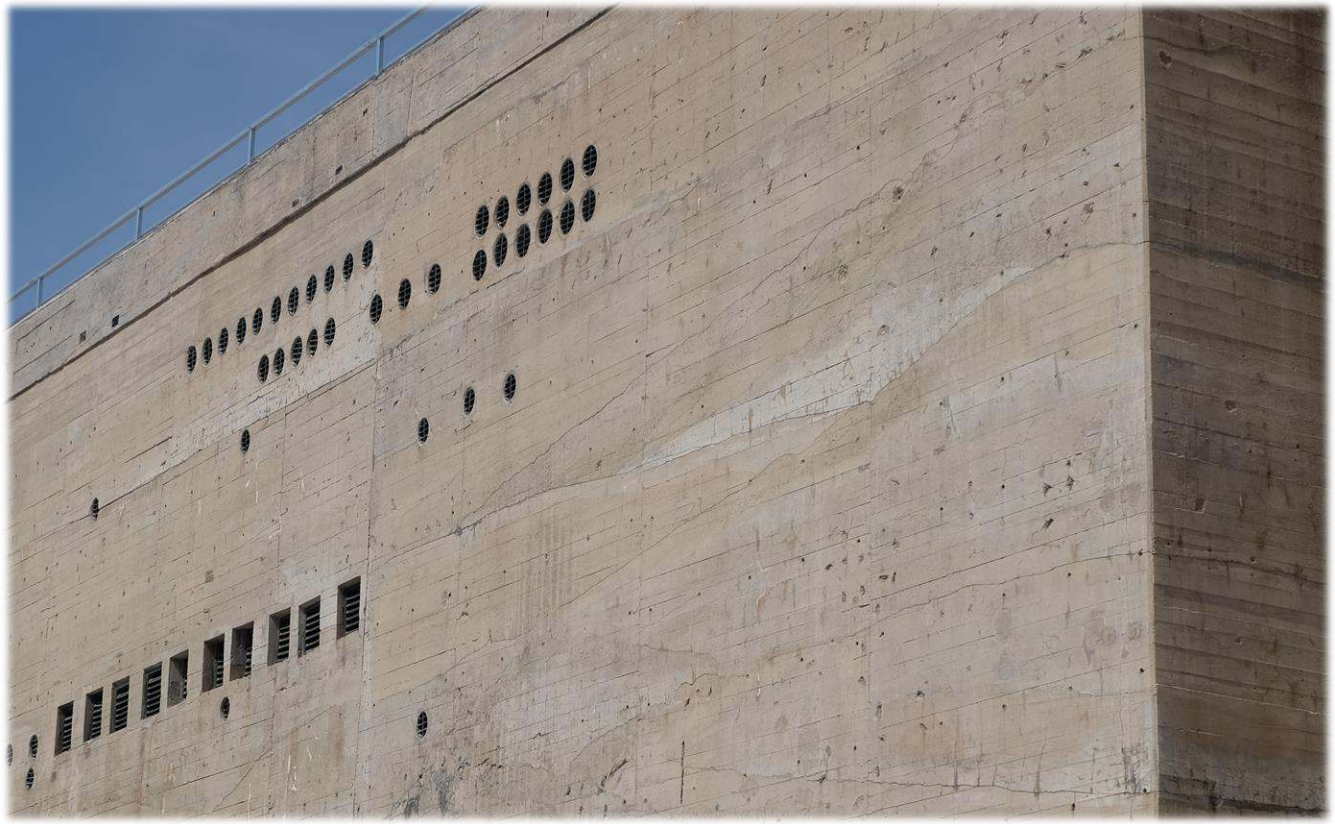
Aspects techniques

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)*



Présentation du site

Présentation des travaux

Aspects techniques

Points clés

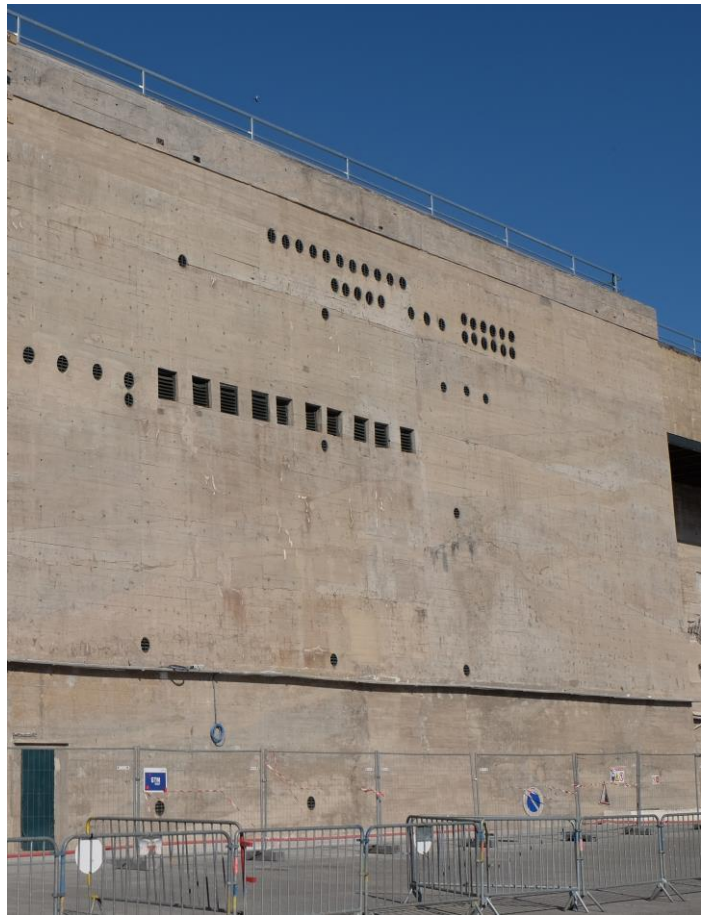
Conclusion

Traitement fonctionnel et chromatique

Avant intervention



Après restauration



Présentation du site

Présentation des travaux

Aspects techniques

Points clés

Conclusion

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

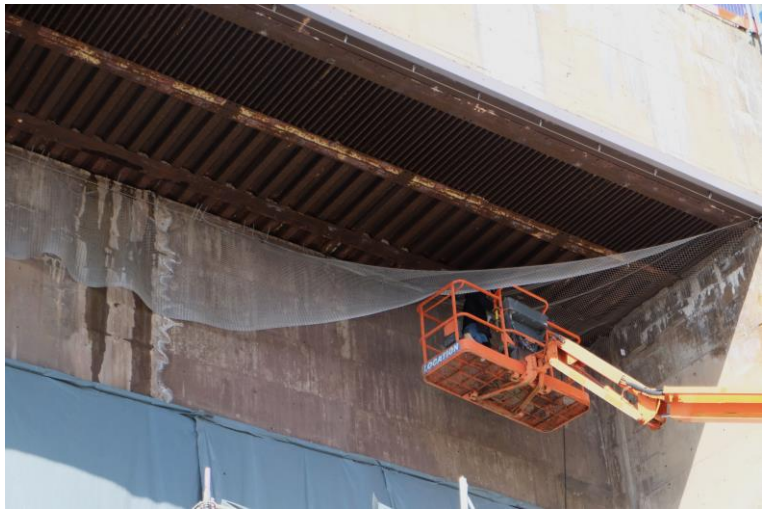
Aspects techniques

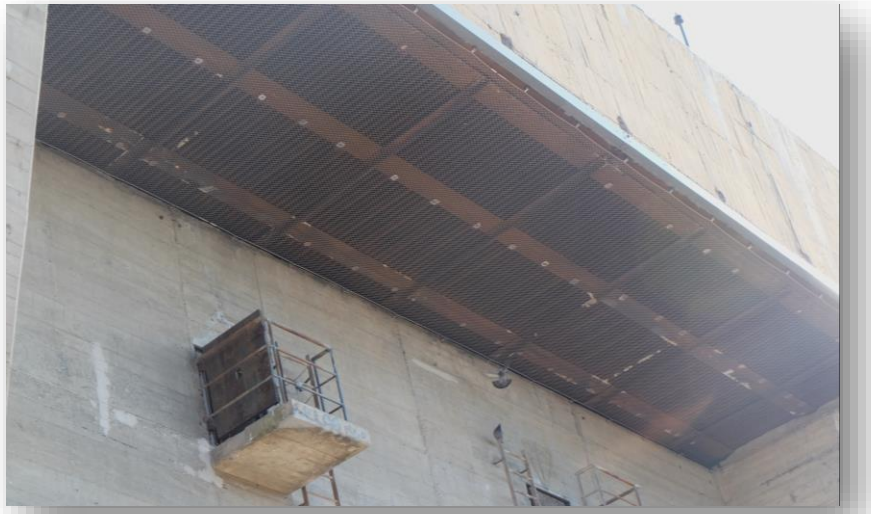
Points clés

Conclusion

Mise en place de filets de protection en Inox

- Pose de plus de 1000 m² 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.*






JLG
LASTIMO




DB SCHENKER-JOYAU

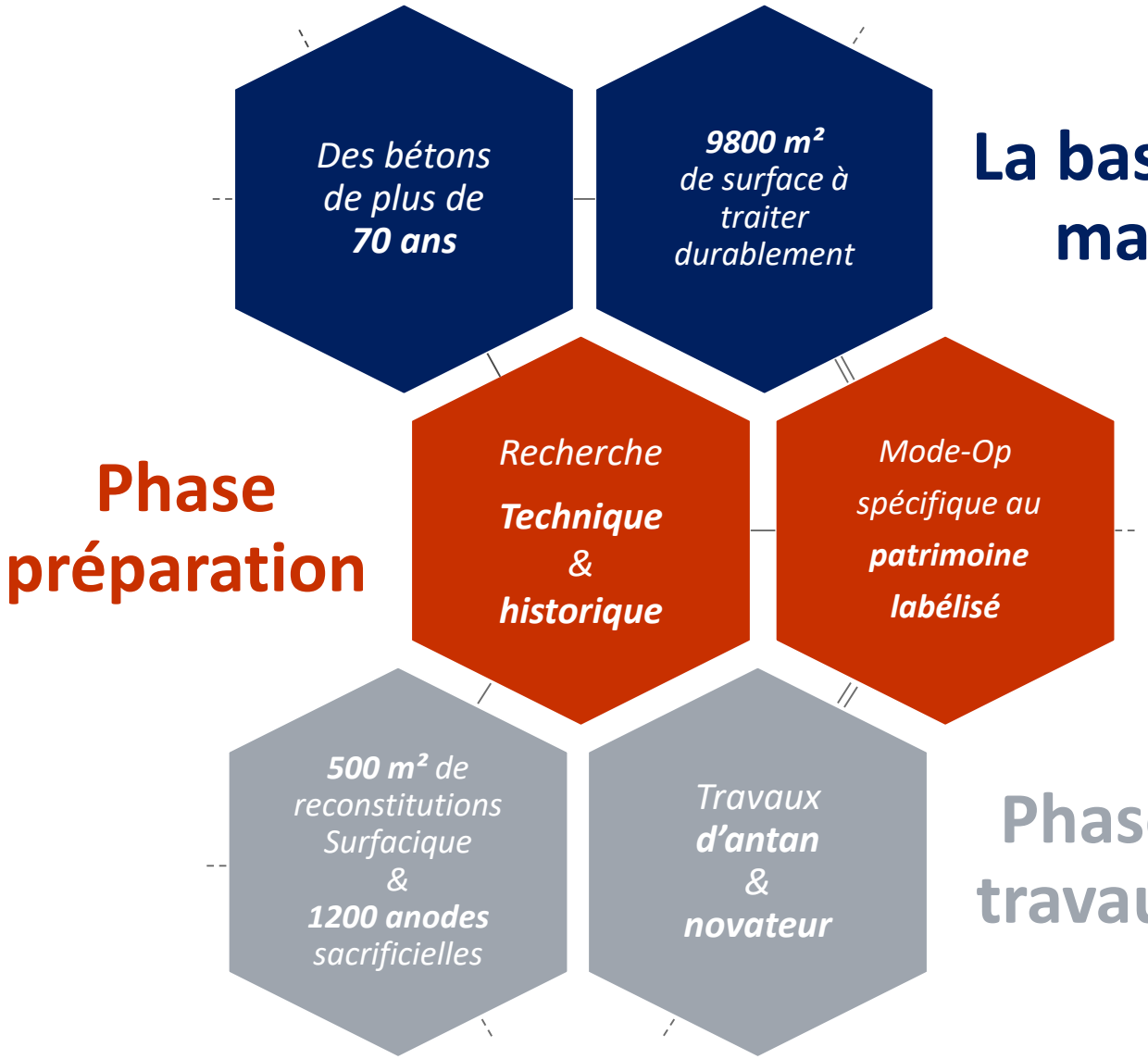
Présentation du site

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)

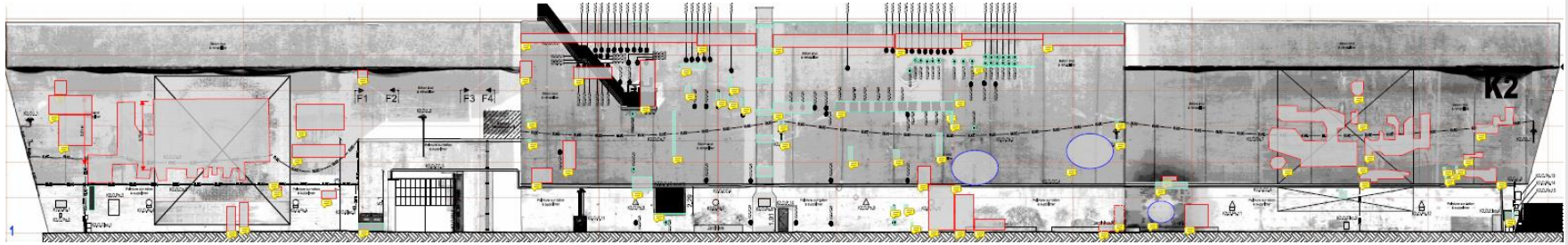
Philosophie de réalisation des travaux (Compagnonnage, Charte de Venise)

- **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'ensembles 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*