

Généralités

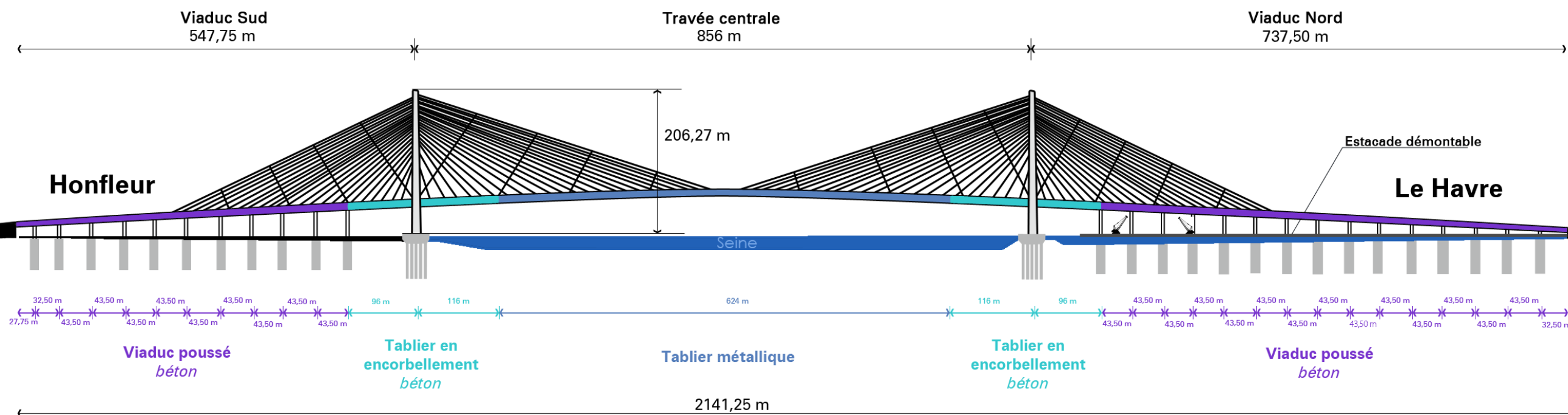


Le Pont de Normandie

Caractéristiques techniques générales

Quelques chiffres...

Longueur de l'ouvrage principal : 2 200 m
Longueur des remblais d'accès : 2 400 m
Longueur de la travée centrale : 856 m
8 x 23 haubans hexagonaux de type précontrainte : de 30 à 51 T.15 (Diam. maxi 173 mm)
Poids au mètre linéaire du tablier Béton : 33 à 50 t
Poids au mètre linéaire du tablier Métal : 8 à 11 t
Pente maximale : 6%
Tonnage d'acier laminé : 5 600 t
Coût TTC tout compris (valeur en 1987) : 221 M€



Maitre d'Ouvrage : Chambre de Commerce et d'Industrie du Havre
Maitrise d'Oeuvre : Etat - DDE 76 mission du Pont de Normandie
Architectes : C. Lavigne
F. Doyelle
M. Lechevalier

Le Pont de Normandie

Plan de situation



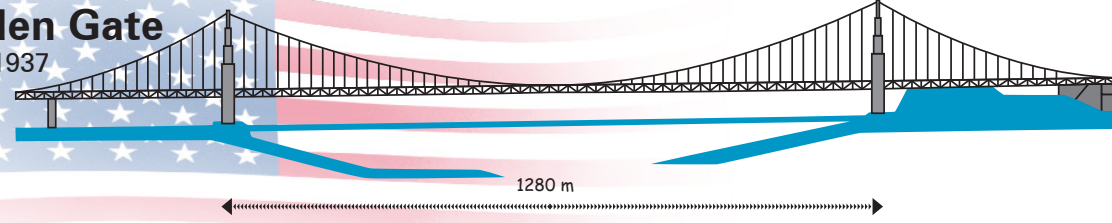
Le Pont de Normandie

...à l'échelle des plus grands ponts du monde

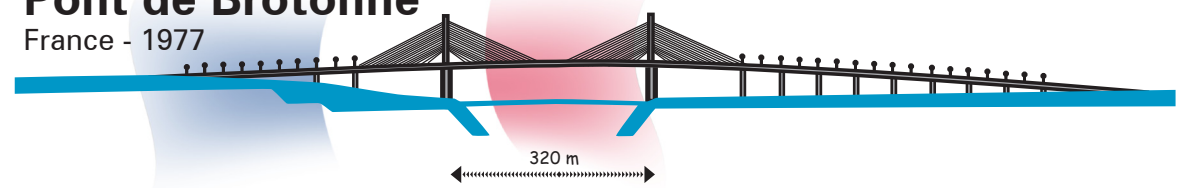
Ponts Suspendus

Ponts à Haubans

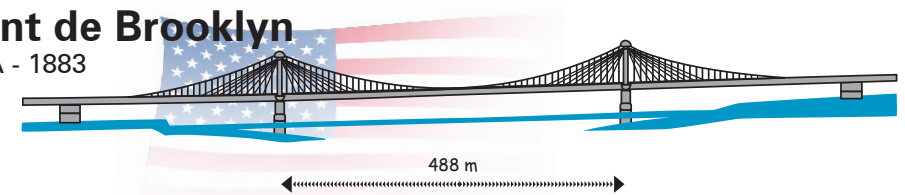
Golden Gate
USA - 1937



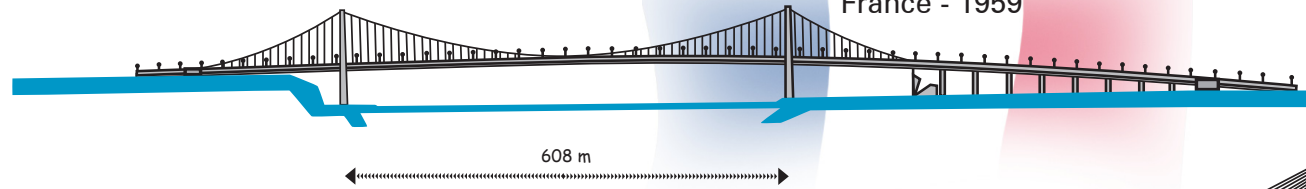
Pont de Brotonne
France - 1977



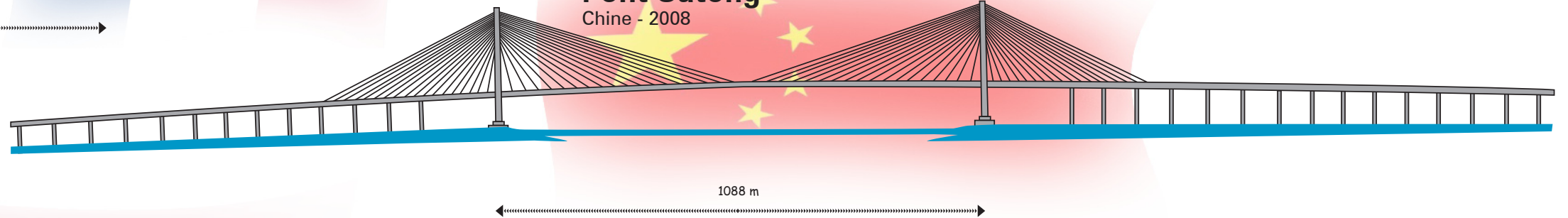
Pont de Brooklyn
USA - 1883



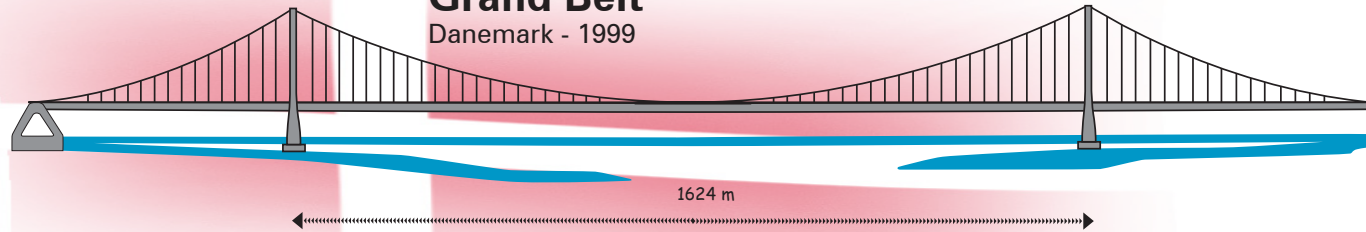
Pont de Tancarville
France - 1959



Pont Sutong
Chine - 2008

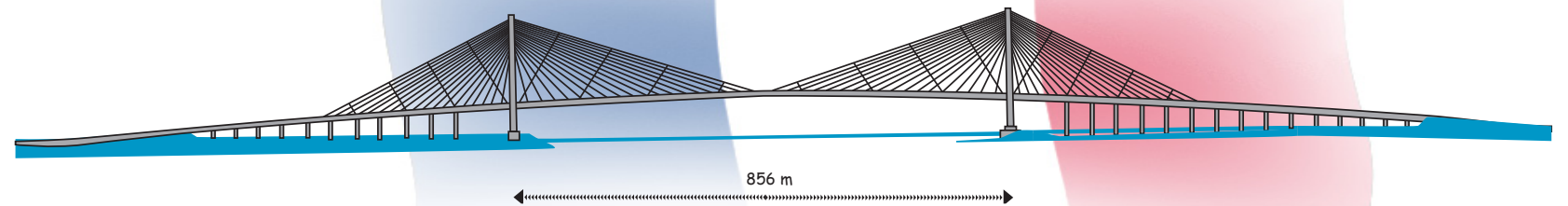


Grand Belt
Danemark - 1999



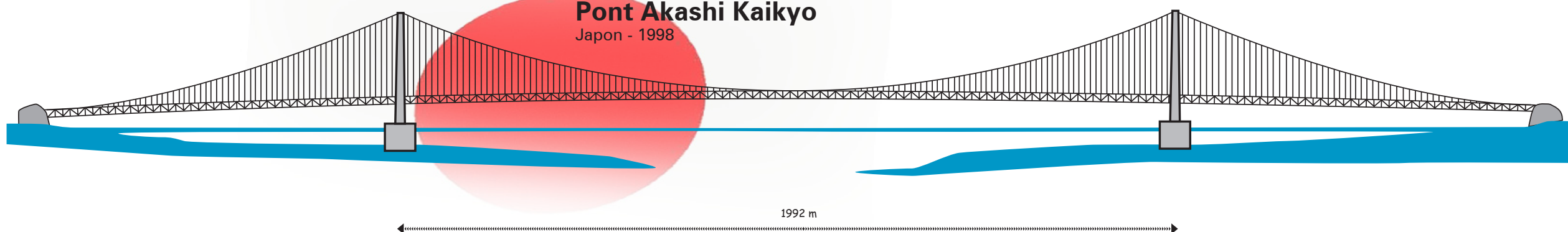
Ces ponts plus récents et plus économiques, sont «auto-équilibrés» et d'entretien plus facile.

Pont de Normandie
France - 1995



Ce type de grands ponts de développement ancien se caractérise par l'importance des ancrages d'extrémité qui supportent toutes les charges par l'intermédiaire des câbles porteurs.

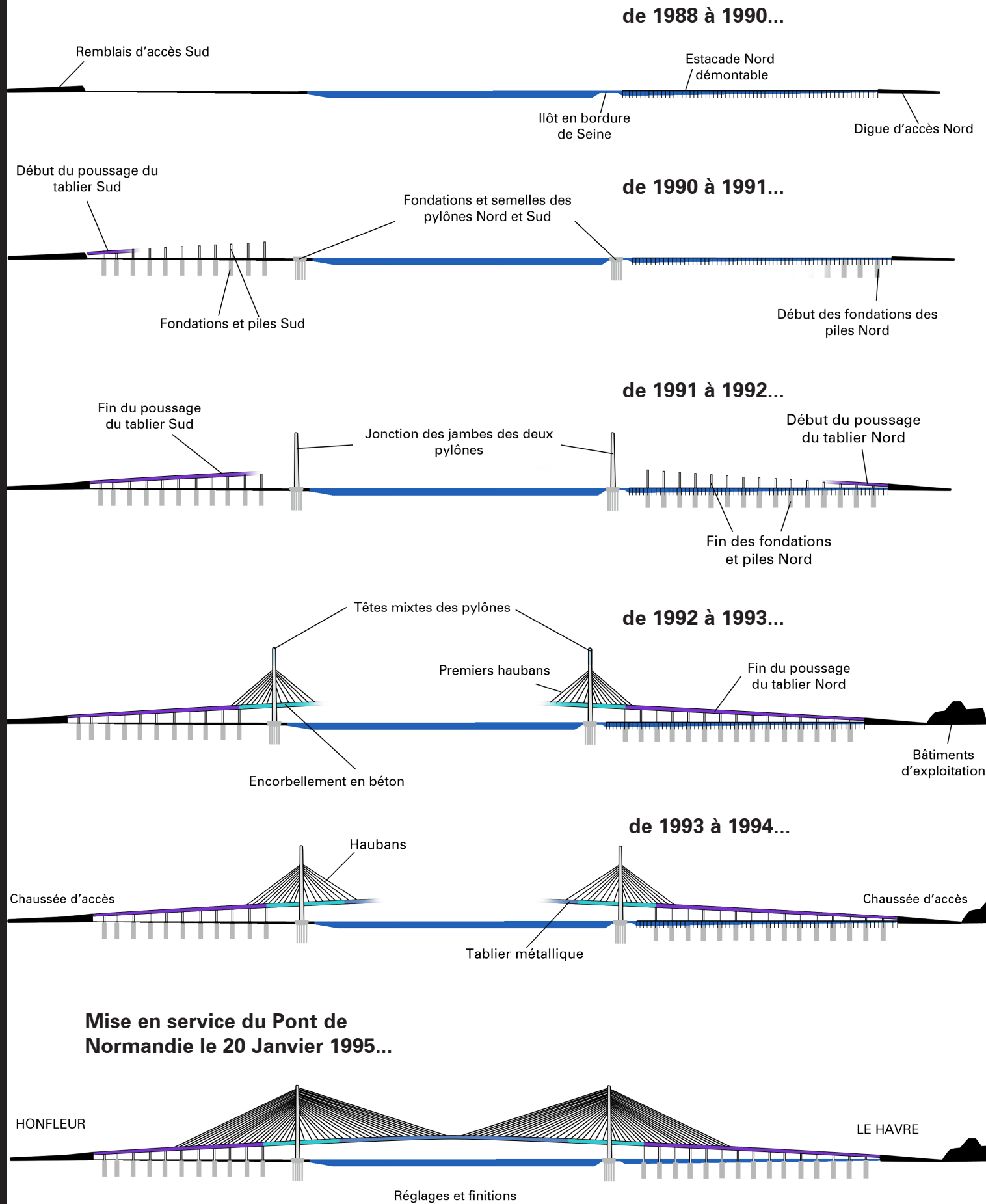
Pont Akashi Kaikyo
Japon - 1998



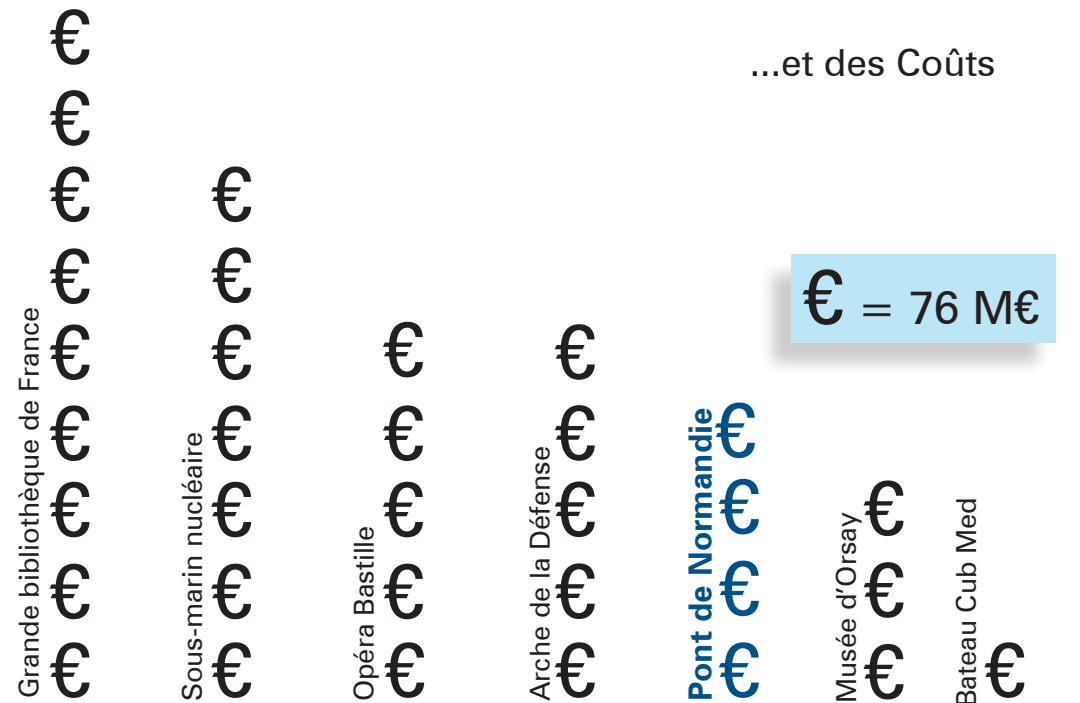
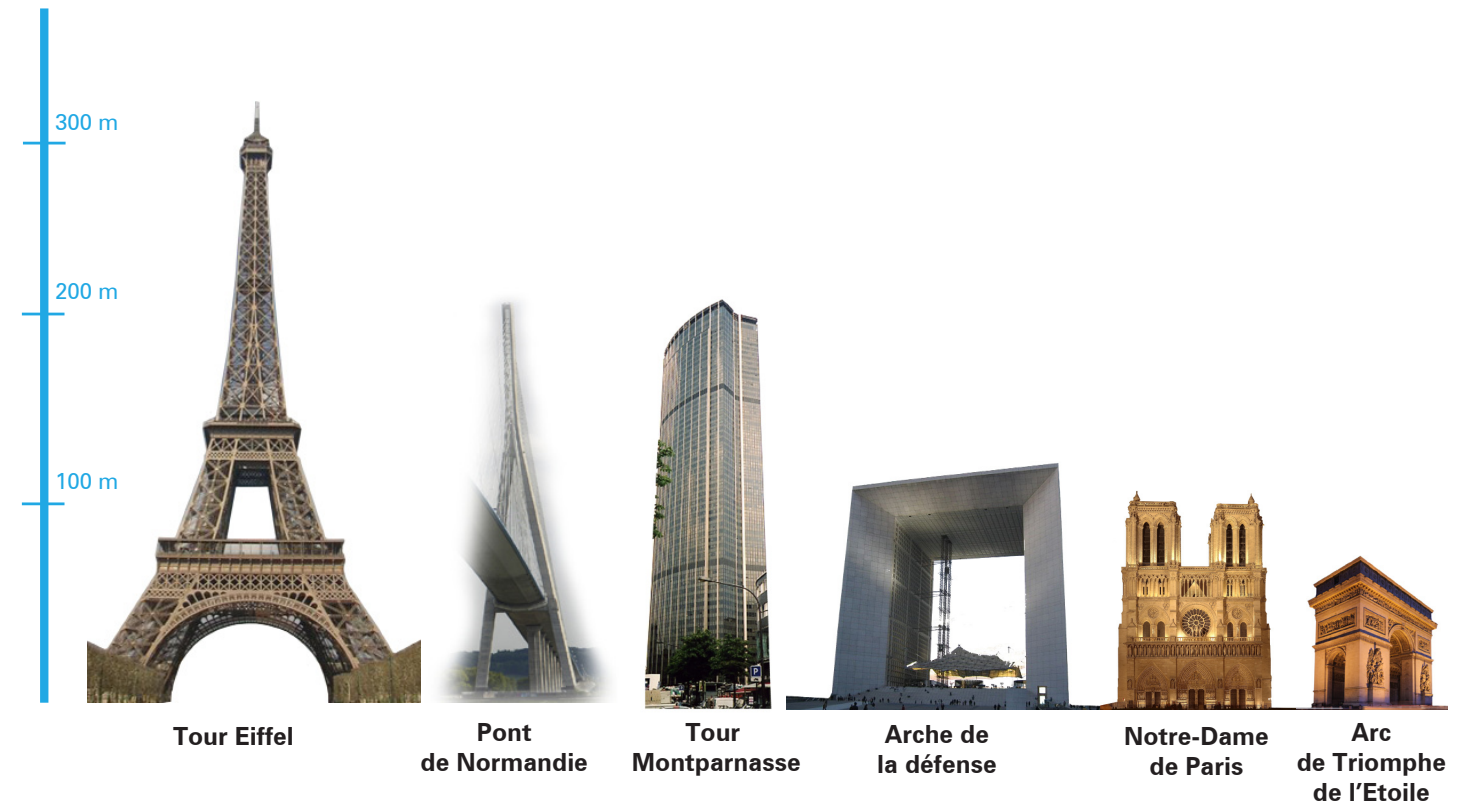
Le Pont de Normandie

Les grandes étapes de sa construction

...et quelques comparaisons



Des Hauteurs...



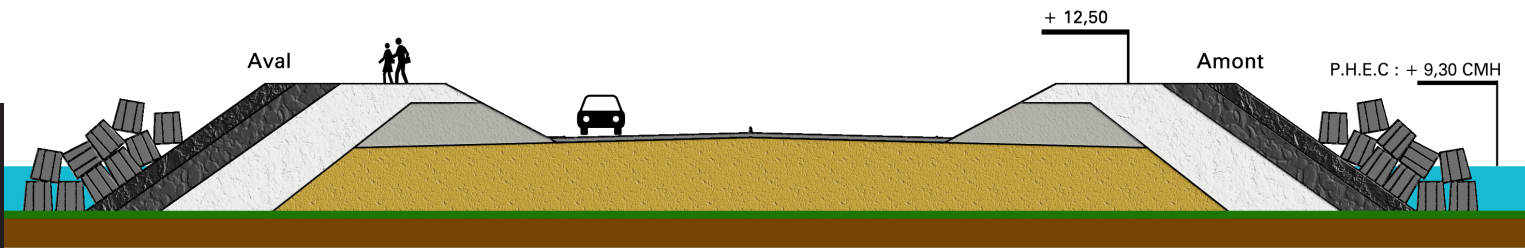
Digue d'accès Nord










Digue d'accès Nord



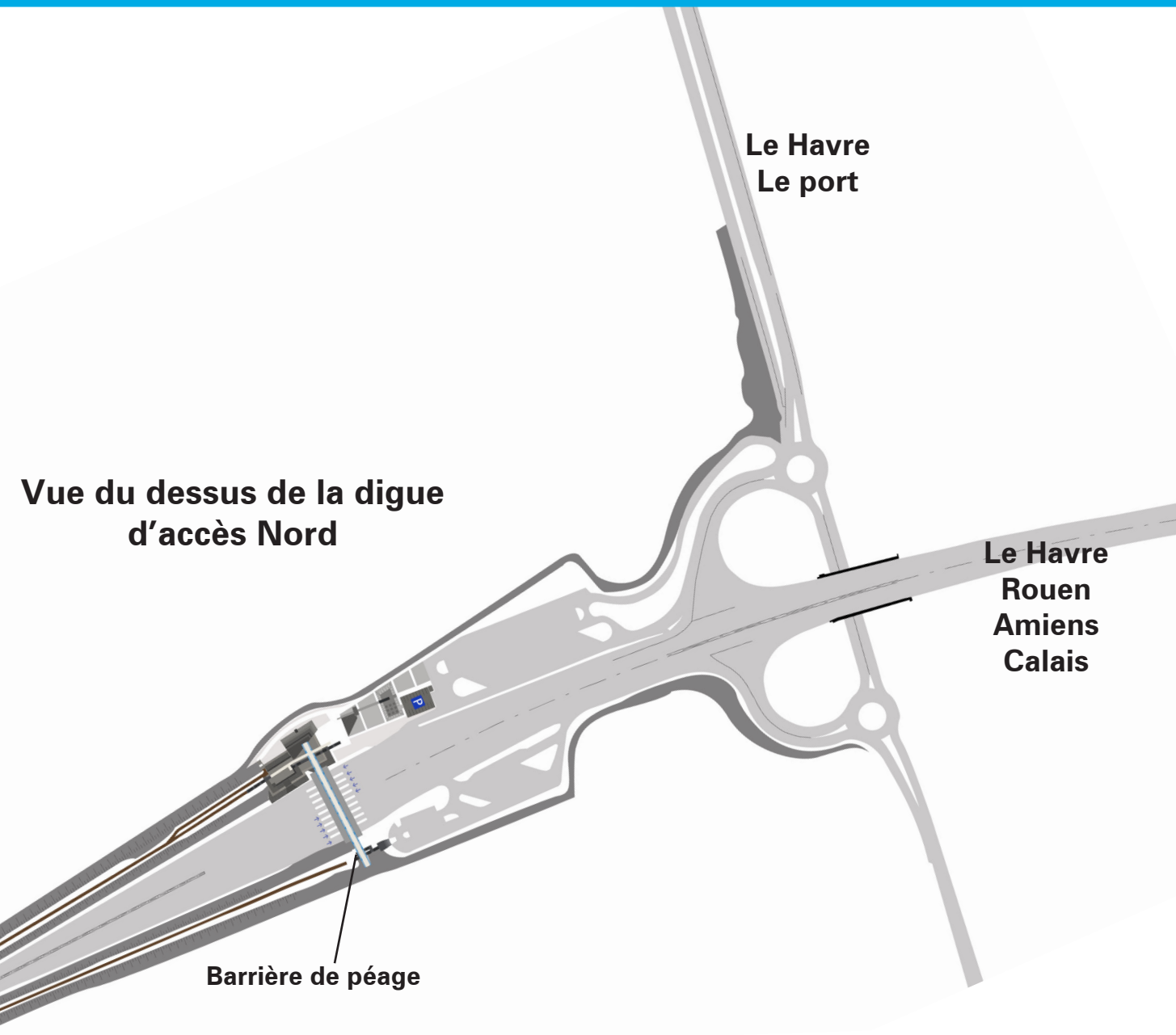
Digue d'accès Nord

Coupe transversale de la digue d'accès Nord



- | | | |
|---|--|--|
|  Sable |  Enrochement durs de 50 à 200 kg |  Silex anti-affouillement |
|  Argile |  Enrochement durs de 200 à 500 kg |  Blocs de béton de 3,5 t |
|  Remblai tout-venant silico calcaire |  Terrain naturel |  Géotextile + drains |

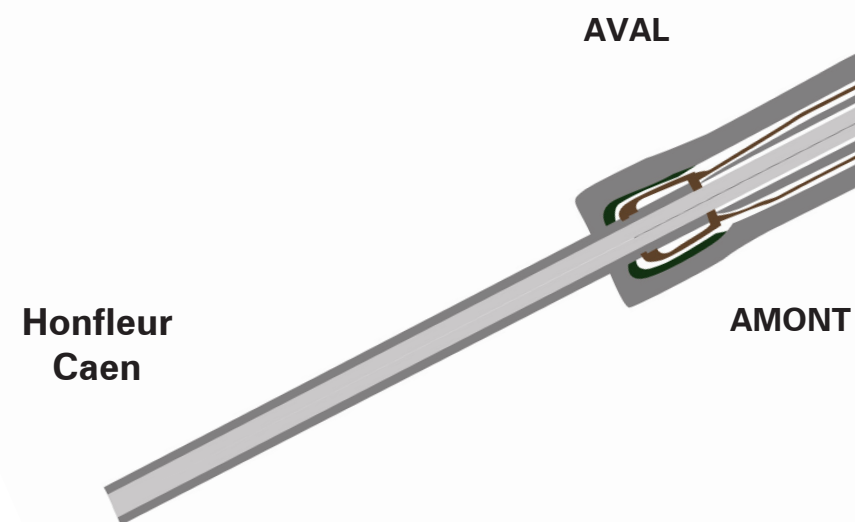
Vue du dessus de la digue d'accès Nord



Lexique...

P.H.E.C : Plus Hautes Eaux Connues

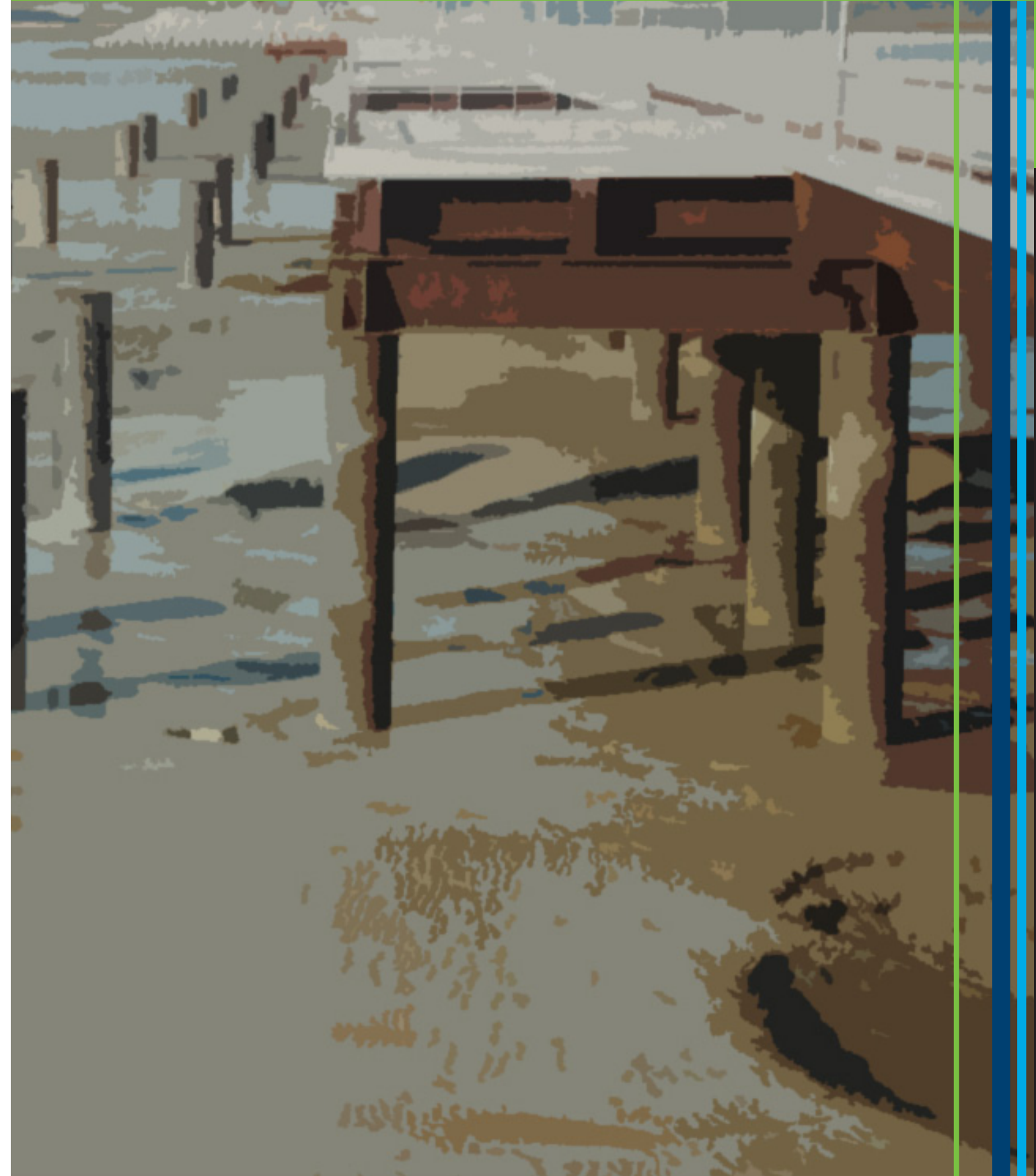
Sur des terrains déjà largement exondés, il a été jugé judicieux de construire un remblai protégé contre la houle dont les caractéristiques ont été adoptées pour des raisons techniques, écologiques, architecturales et financières.



Quelques chiffres...

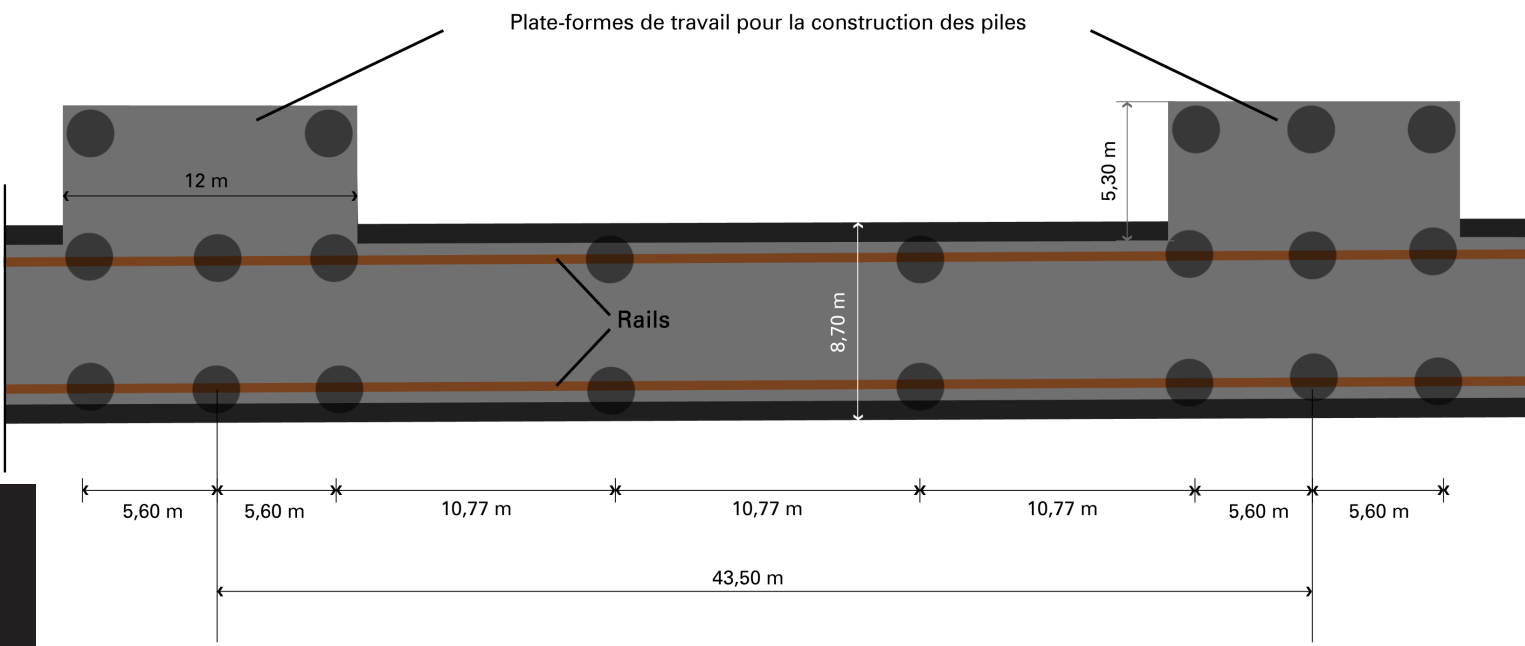
- Sable : 245 270 m³
- Argile à silex : 66 890 m³
- Tout-venant silico calcaires : 47 050 m³
- Enrochement calcaires : 19 285 m³
- Enrochement durs : 12 427 m³
- Silex anti-affouillement : 7 982 m³
- Géotextile : 47 418 m³
- Blocs de 3,6 t : 4 770 Blocs
- Coût des travaux : 7,7 M€
- Réalisation des travaux : entreprise TINEL
- Délai de réalisation (en 1988) : 9 mois

Estacade provisoire



Estacade provisoire

Lexique...
C.M.H : Carte Marine Havraise



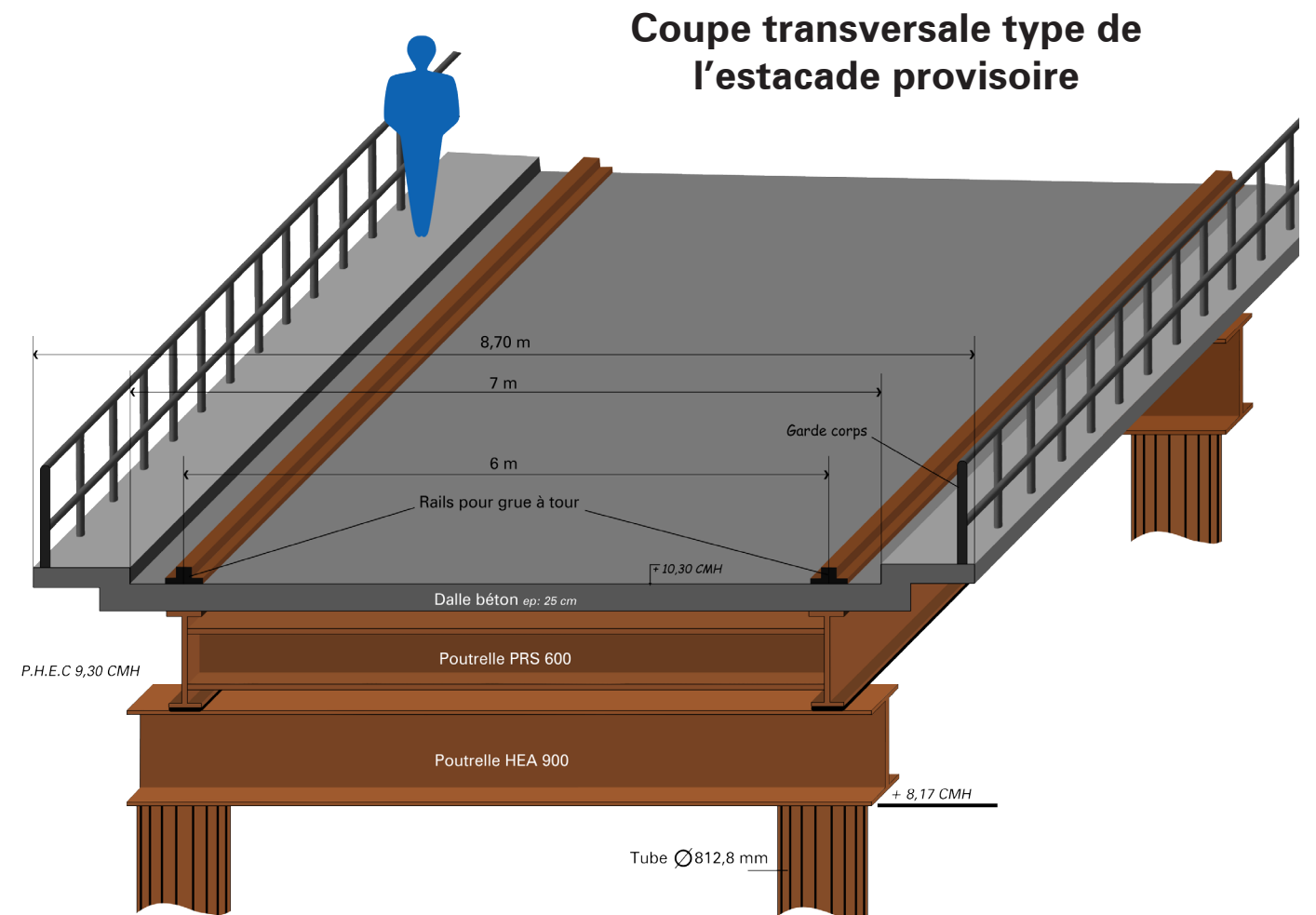
Estacade vue de dessus

Quelques chiffres...

- Nombre de tubes-pieux : 214
- Tonnage des pieux : 650 t
- Longueur des pieux : 17 m
- Tonnage charpente métallique : 1 040 t
- Volume béton : 1 740 m³
- Tonnage des armatures béton : 375 t
- Coût des travaux *démontage compris* : 4 M€
- Délai études et travaux (1989) : 4 mois 1/2
- Travaux réalisés par : CHANTIERS MODERNES
- sous traitants* : GERMAIN DAVUM ARBED GTS

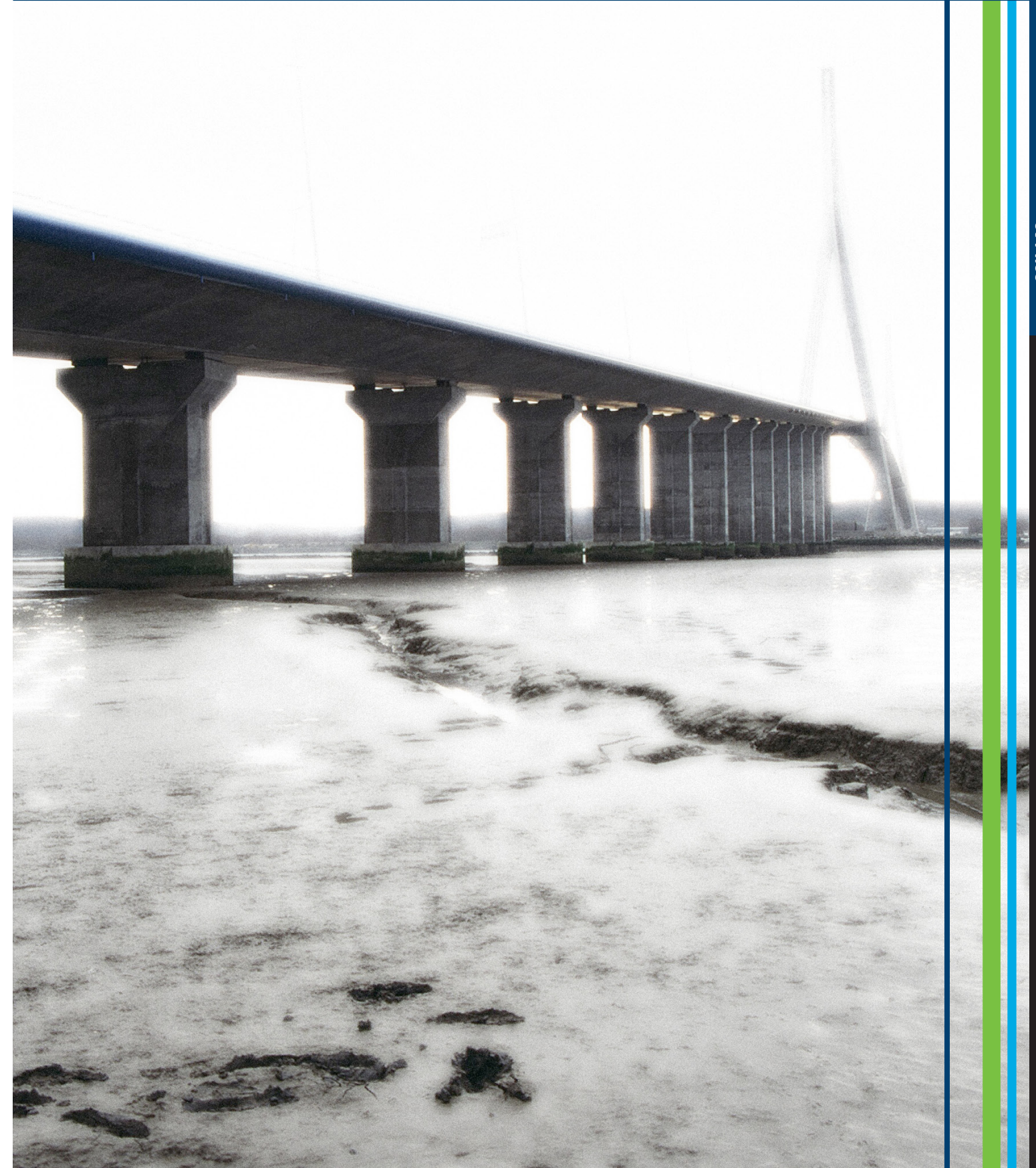


La difficulté technique et écologique de circuler dans la vase, a rendu nécessaire la construction à l'avancement d'une estacade pour la circulation des engins et la construction des piles du viaduc et du pylône Nord.



Coupe transversale type de l'estacade provisoire

Fondations et Piles



Fondations et Piles

Construction des pieux de fondation du viaduc et des pylônes

Quelques chiffres...

Fondations des pylônes Nord et Sud :

Nombre de pieux au total : 56 (4 x 14 pieux)
Linéaire de pieux : 2 828 ml
Diamètre de chaque pieu : 2,10 m
Quantité de béton utilisée : 9 796 m³
Poids des armatures : 1 250 t
Capacité portante d'un pieu : \approx 3 000 t

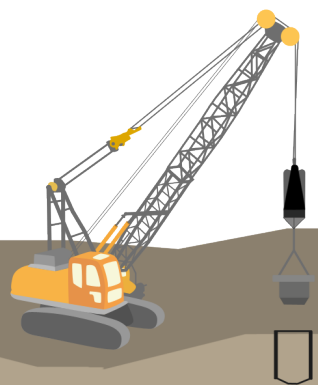
Quelques chiffres...

Fondations des piles du viaduc Sud :

Nombre de pieux au total : 52
Linéaire de pieux : 2 248 ml
Diamètre de chaque pile : 1,50 m
Quantité de béton utilisée : 12 480 m³
Poids des armatures : 304 t
Coût : \approx 15 M€
Délai : \approx 18 mois
Travaux réalisés par : GIE et BILFINGER & BERGER

Etape 1

Mise en place du tube de guidage. (2 m)



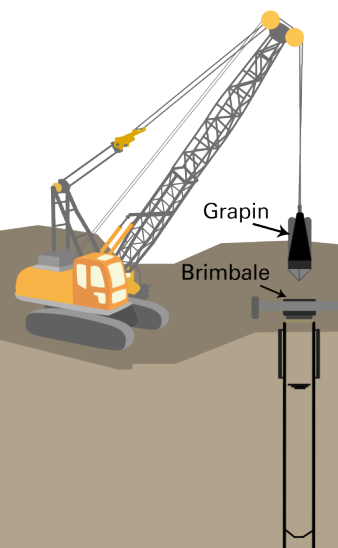
Etape 2

Mise en place du tube de forage. (18 m)



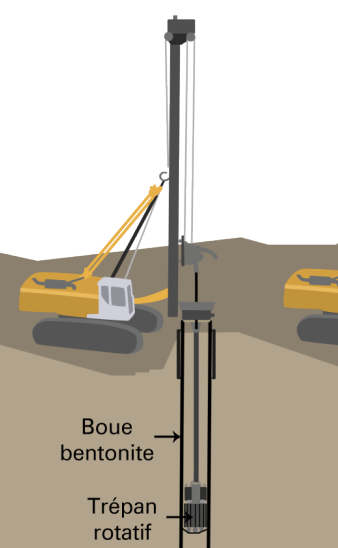
Etape 3

Forage par grapin. (18,5 m)



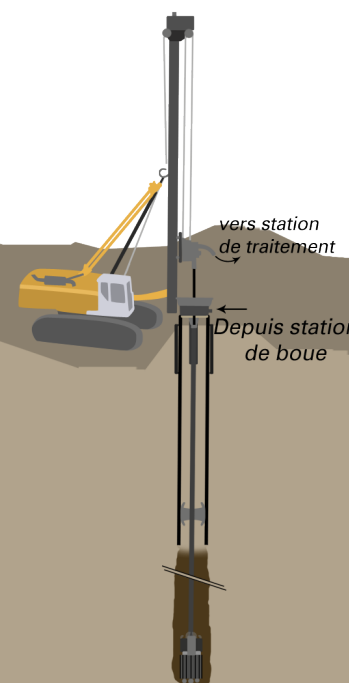
Etape 4

Forage par trépan rotatif sous boue bentonite (argile naturelle gonflante).



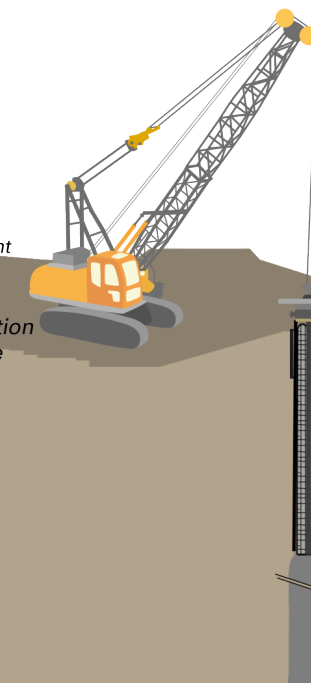
Etape 5

Descente du trépan jusqu'au banc de calcaire harpagodes (pour le viaduc), ou banc de plomb (pour le pylône) sous jacent.



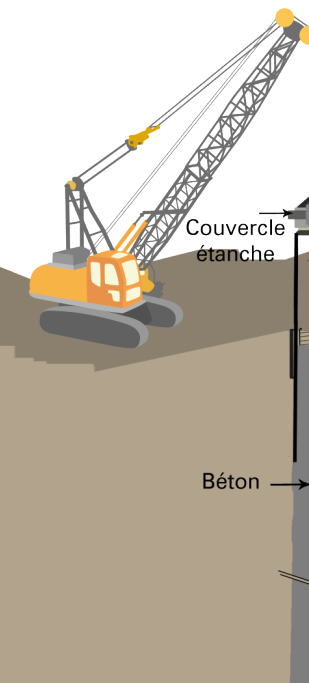
Etape 6

Mise en place des cages d'armatures et bétonnage.



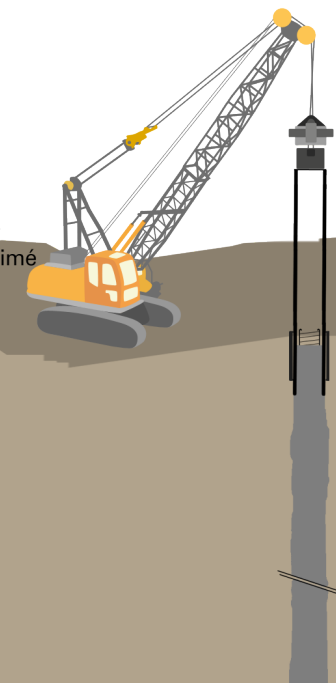
Etape 7

Retirage du tube de forage sous air comprimé.



Etape 8

Démontage de la brimbale et retraitage du tube de forage et du tube de guidage.



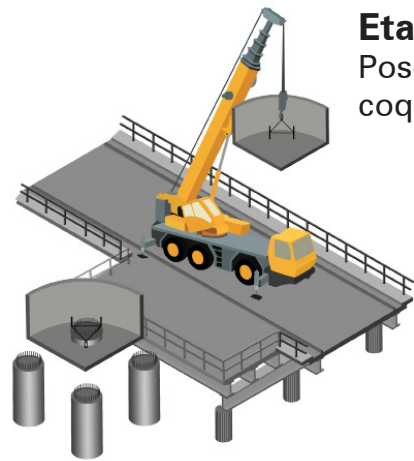
Etape 9

Repli des engins et du matériel, le pieu est contrôlé par auscultations et carottages. Prêt à recevoir la pile.

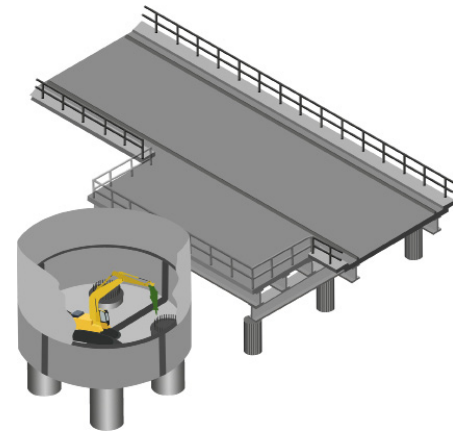
Etapes de forage des fondations

Fondations et Piles

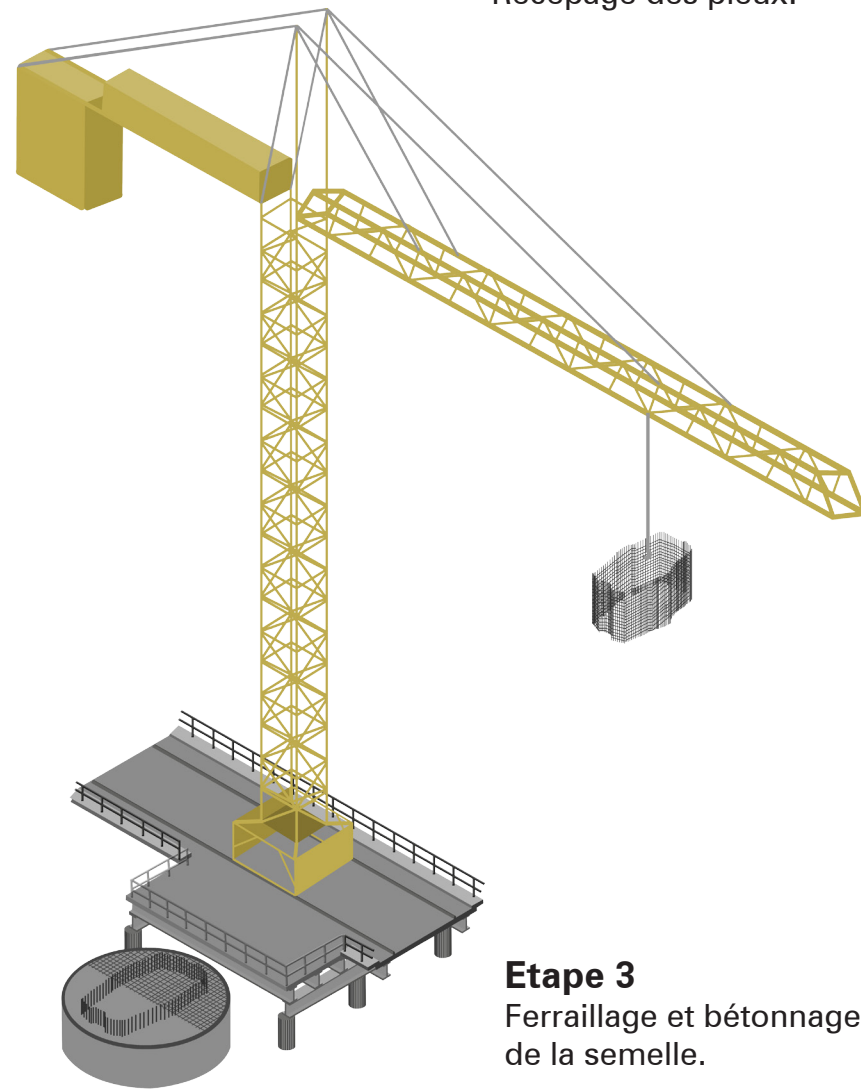
Construction des pieux de fondation du viaduc et des pylônes



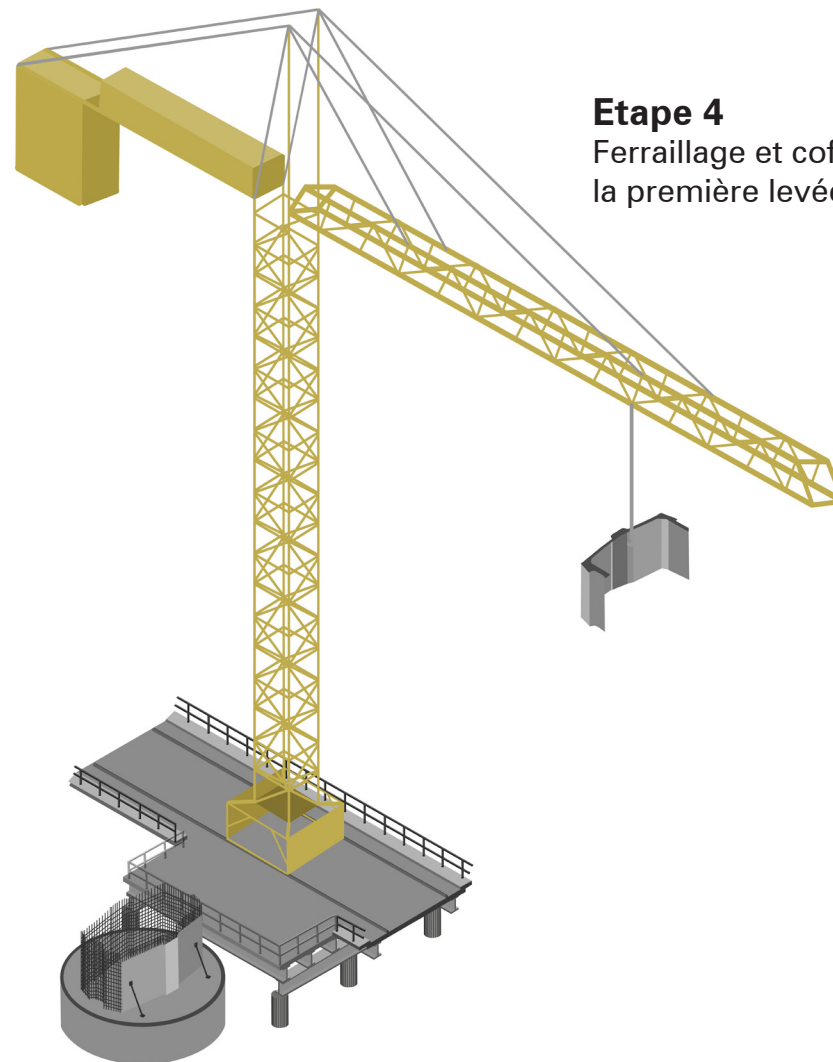
Etape 1
Pose des quart de coques préfabriqués.



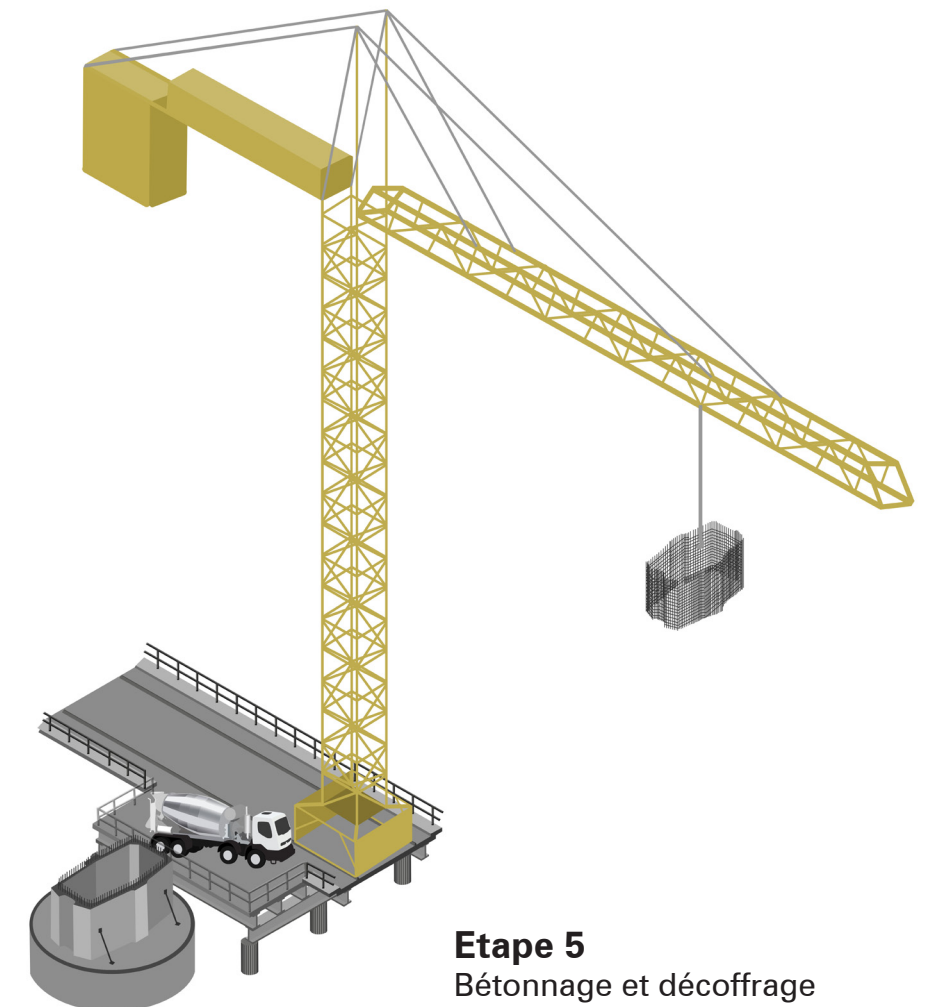
Etape 2
Réglage et assemblage des quart de coques, ensuite descente.
Construction d'une réhausse métallique (à marée basse).
Recépage des pieux.



Etape 3
Ferrailage et bétonnage de la semelle.



Etape 4
Ferrailage et coffrage de la première levée.



Etape 5
Bétonnage et décoffrage de la première levée.
Même procédé pour les levées suivantes.

Quelques chiffres...

Nombre de piles : rive droite : 15
rive gauche : 11

Béton total : 9 460 m³

Acier total : 1 160 t

Epaisseur paroi : 0,25 m

Hauteur plus petite pile : 7,31 m

Hauteur plus grande pile : 43,89 m

Hauteur d'une levée : 3,40 m

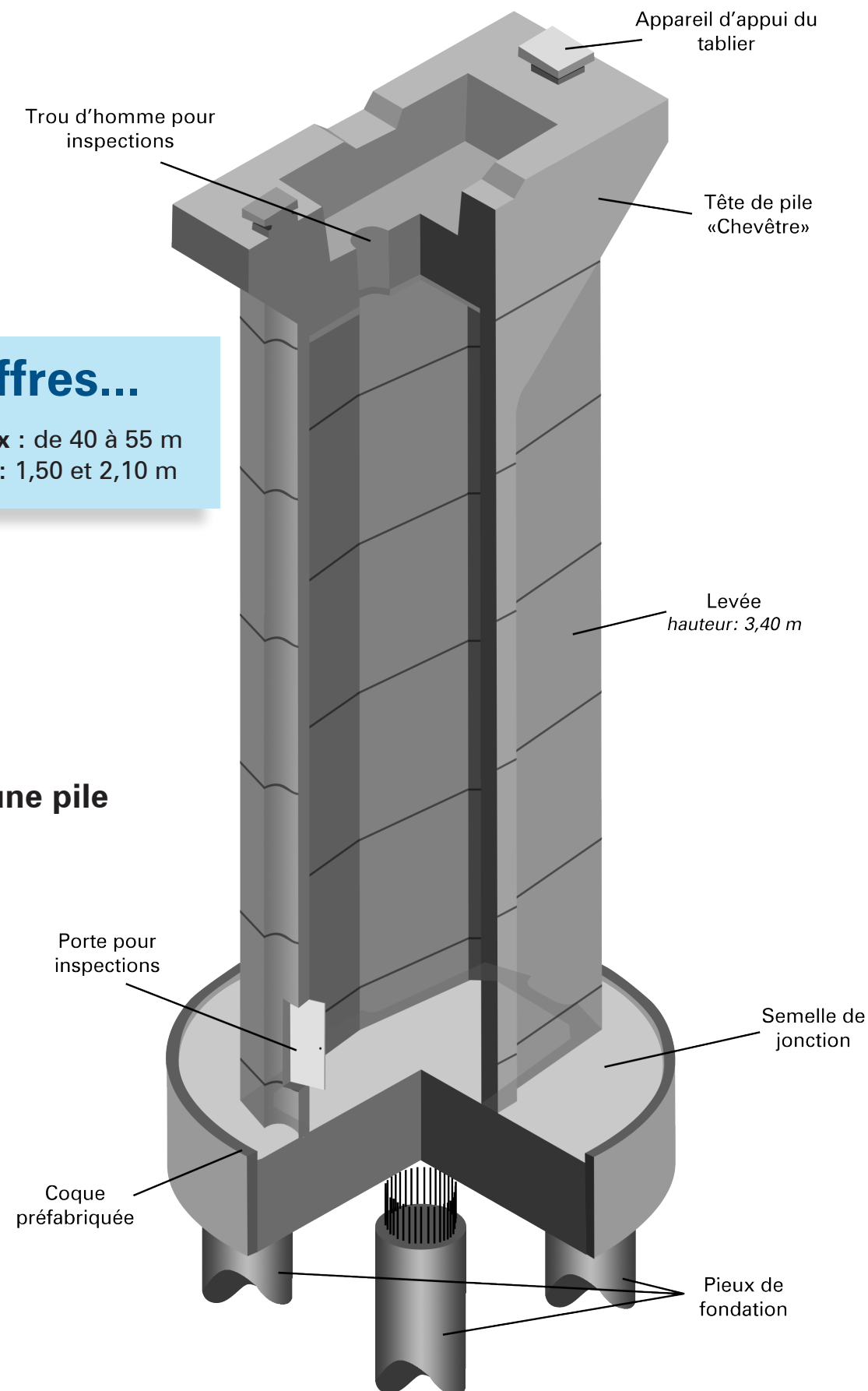
Entreprises : GIE Pont de Normandie

Sous traitant principal : BABICH-WELBON (acier)

Quelques chiffres...

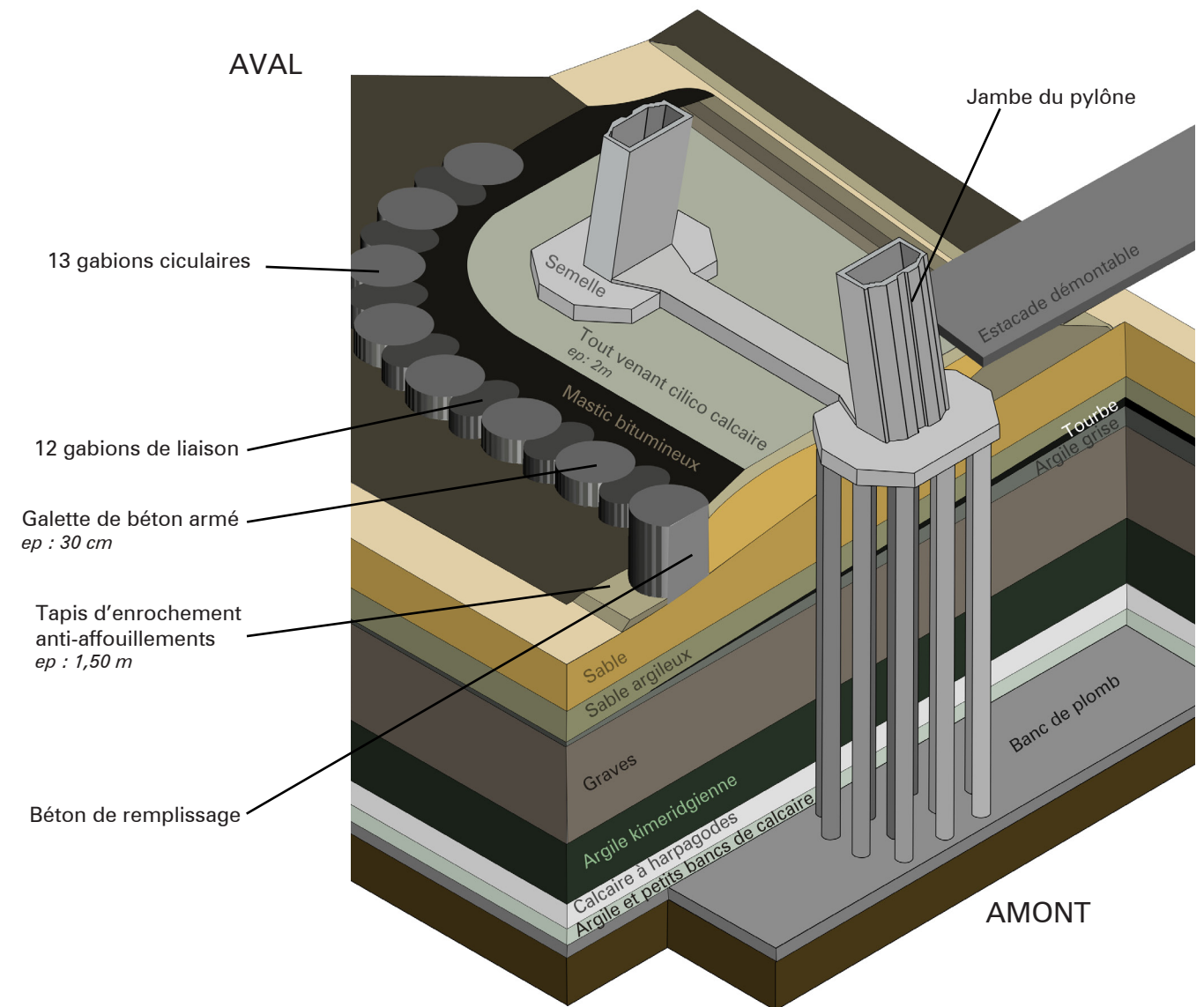
Fondations sur pieux : de 40 à 55 m
Diamètre des pieux : 1,50 et 2,10 m

Ecorcher d'une pile



Le pylône Nord se trouvant au bord de la Seine, il est nécessaire de construire un îlot de protection contre les chocs des bateaux en perdition. Cet îlot sert également de plate-forme de travail pour la construction du pylône.

Îlot de protection du pylône Nord

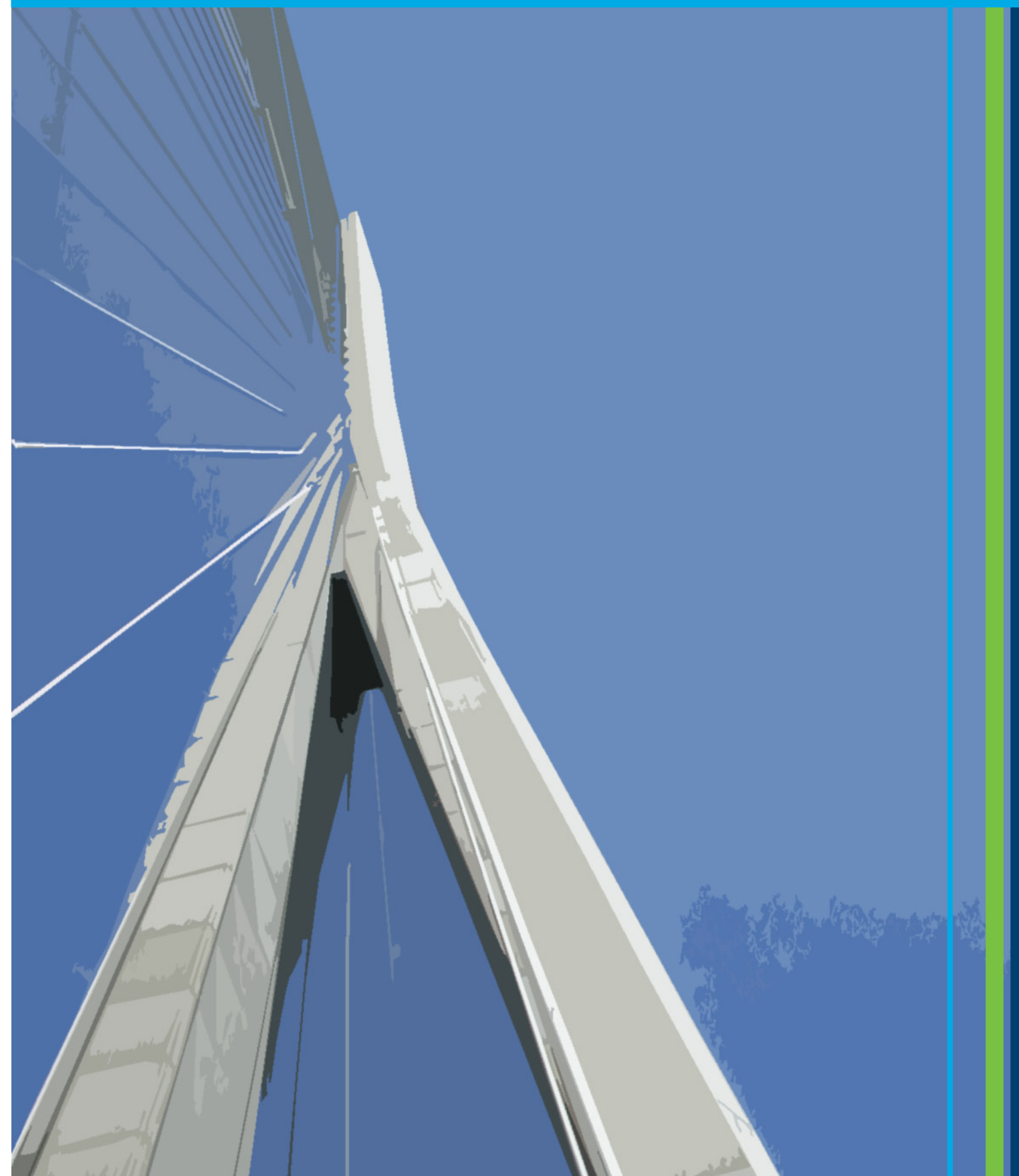


Quelques chiffres...

Palplanches métalliques : 1 070 t
Béton de remplissage : 12 700 m³
Béton armé : 375 m³
Remblai sable : 36 000 m³
Tout-venant silico-calcaire : 12 400 m³
Géotextile pour drain : 1 600 m³
Drain (galets) : 1 200 m³
Encrochements talus 50/200 kg : 1 430 m³

Encrochements talus
200/500 kg : 1 430 m³
Mastic bitumineux : 275 t
Tapis d'encrochements : 49 400 t
Coût des travaux : 5 M€
Délai (1989/1990) : 7 mois
Entreprises :
îlot : QUILLERY
encrochements : TINEL-DRAFLUMAR
Principal sous-traitant : TOFFOLUTTI

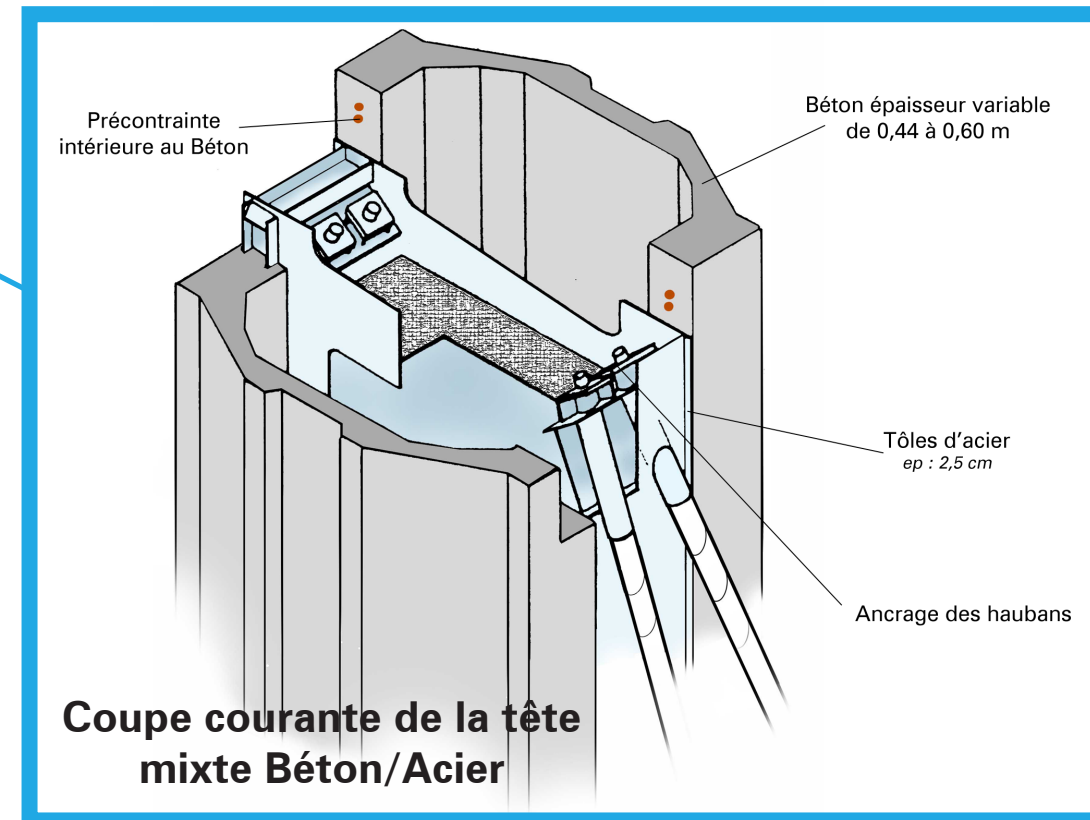
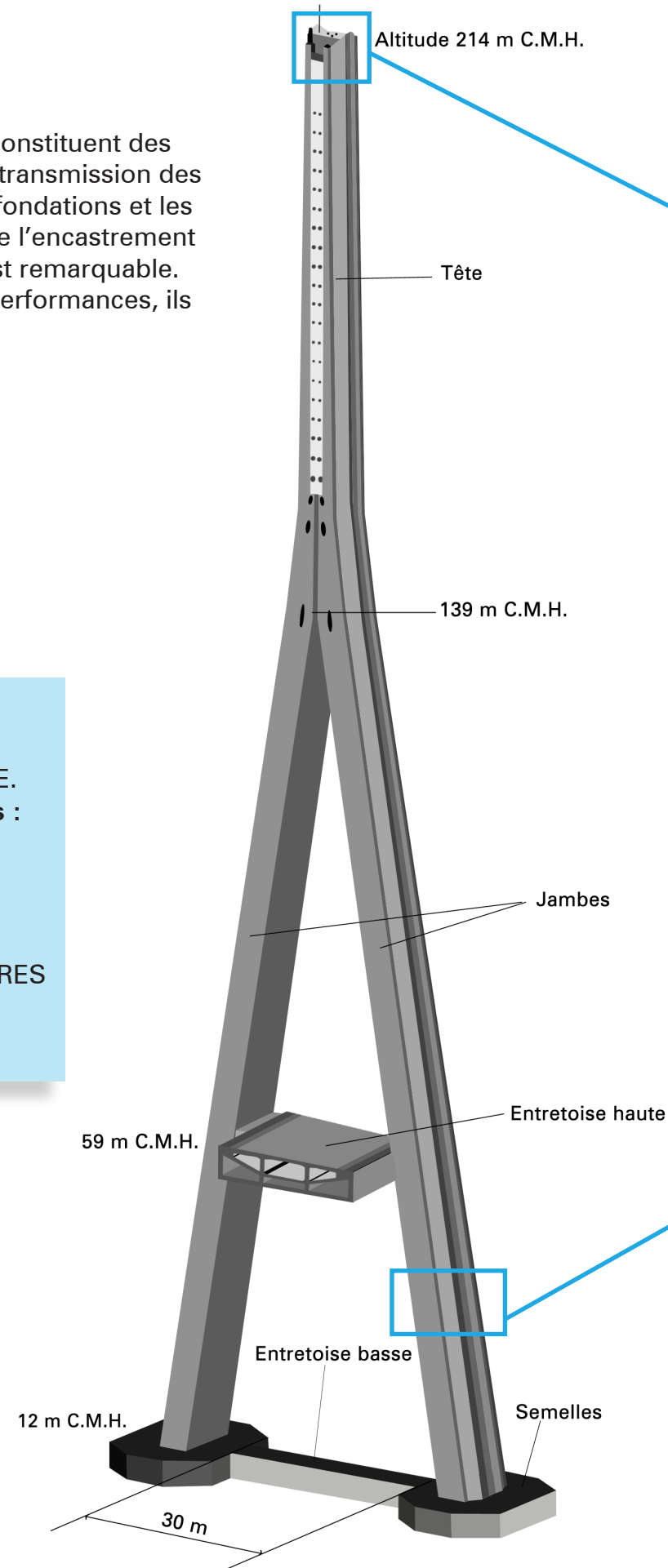
Pylônes



Pylônes

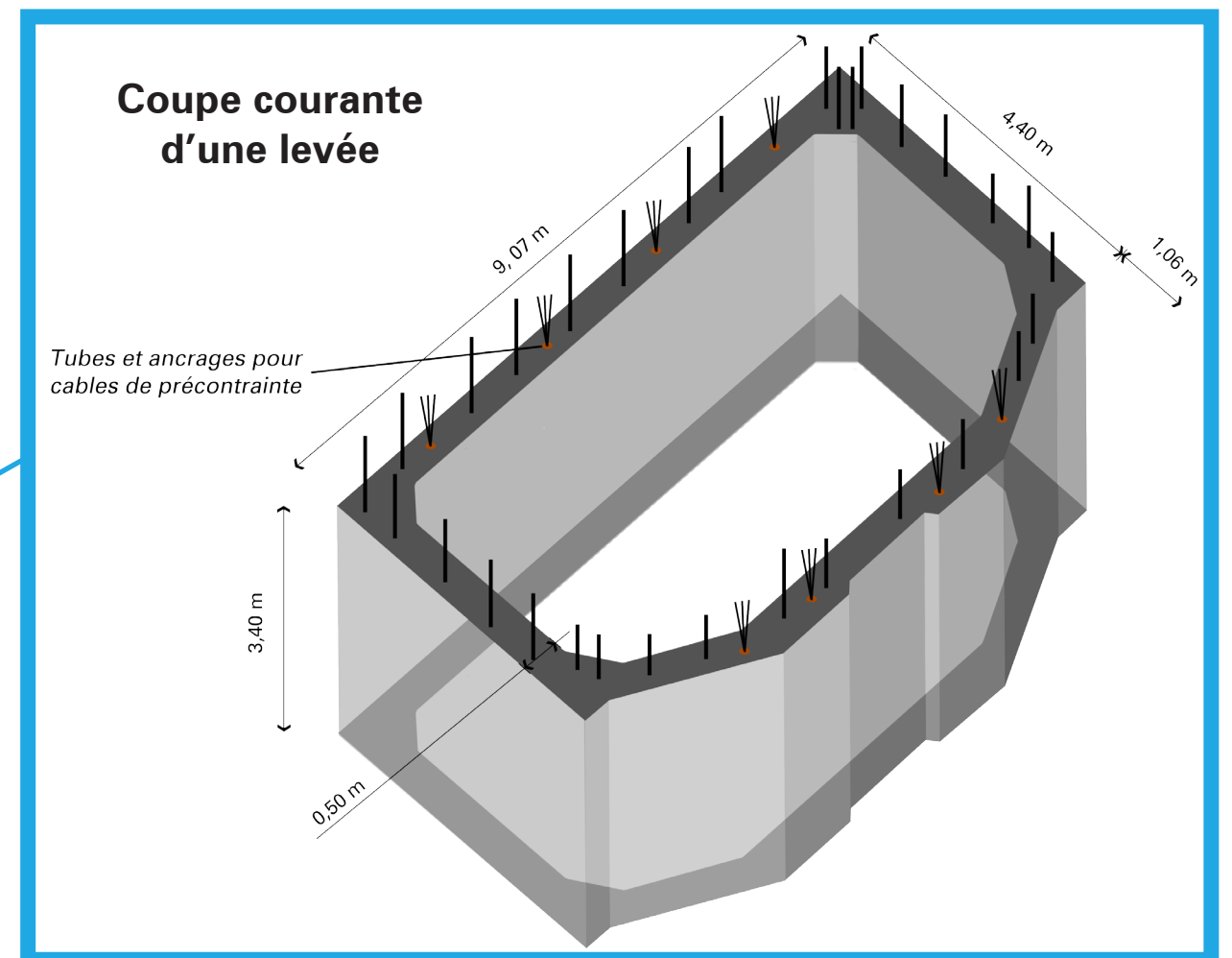
La structure des pylônes

Les deux pylônes du Pont de Normandie constituent des parties d'ouvrage essentielles : ils assurent la transmission des efforts de la grande travée centrale vers les fondations et les viaducs par l'intermédiaire des haubans et de l'encastrement entre le tablier et le pylône. Leur hauteur est remarquable. Réalisés principalement en béton à hautes performances, ils sont d'une grande rigidité.



Entreprises...

Entreprise principale : Le G.I.E.
Sous-traitants et fournisseurs :
Ferrailage : B.W.B.
Précontrainte : FREYSSINET
Acier : D.S.D. SECOMETAL
Ciments : LAFARGE
Coffrages : DOKA STRUCTURES
Etaisements : MILLS
Grues : POTAIN



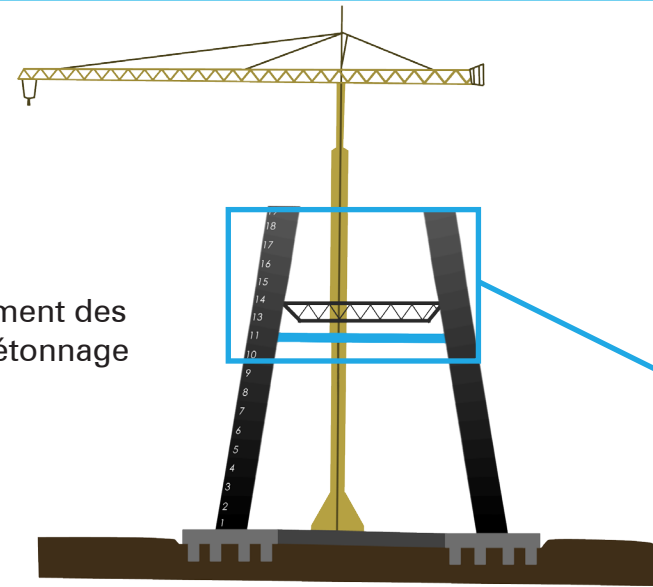
Pylônes

Les méthodes de construction

Phase 1

Printemps 1992...

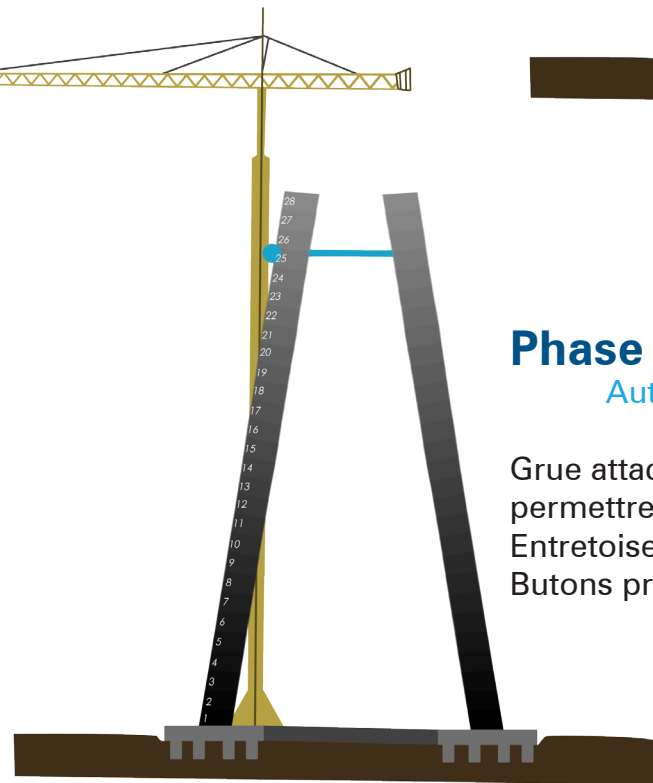
Butons provisoires d'écartement des jambes et étaie pour bétonnage de l'entretoise.



Phase 2

Automne 1992...

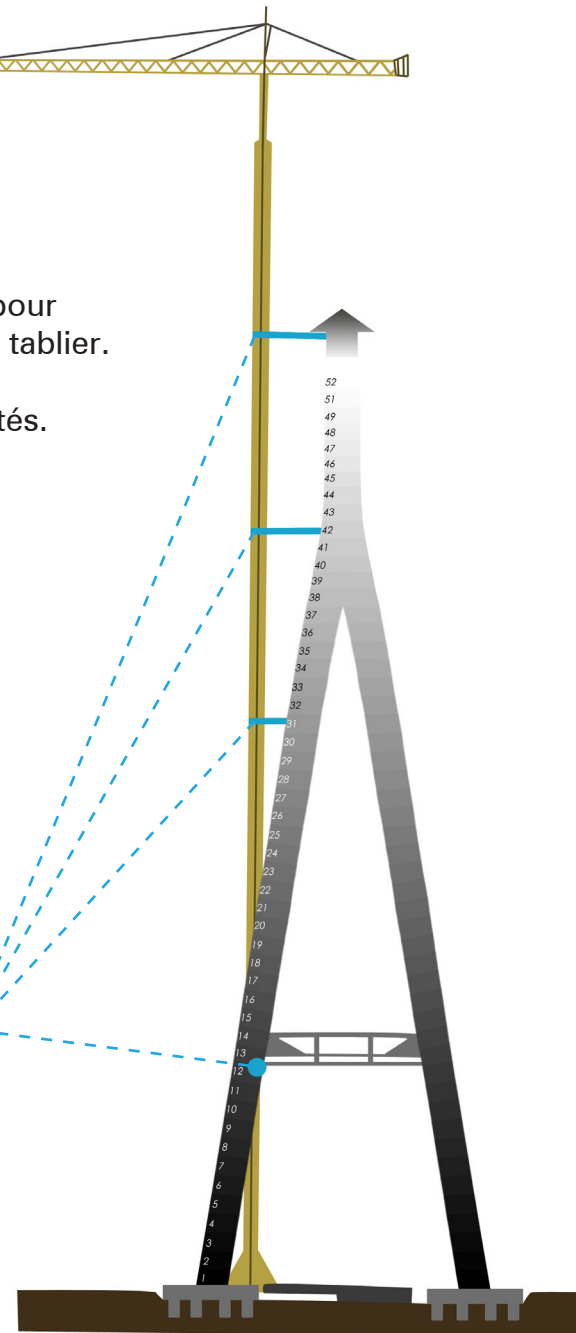
Grue attachée et décalée pour permettre la réalisation du tablier. Entretoise bétonnée. Butons provisoires remontés.



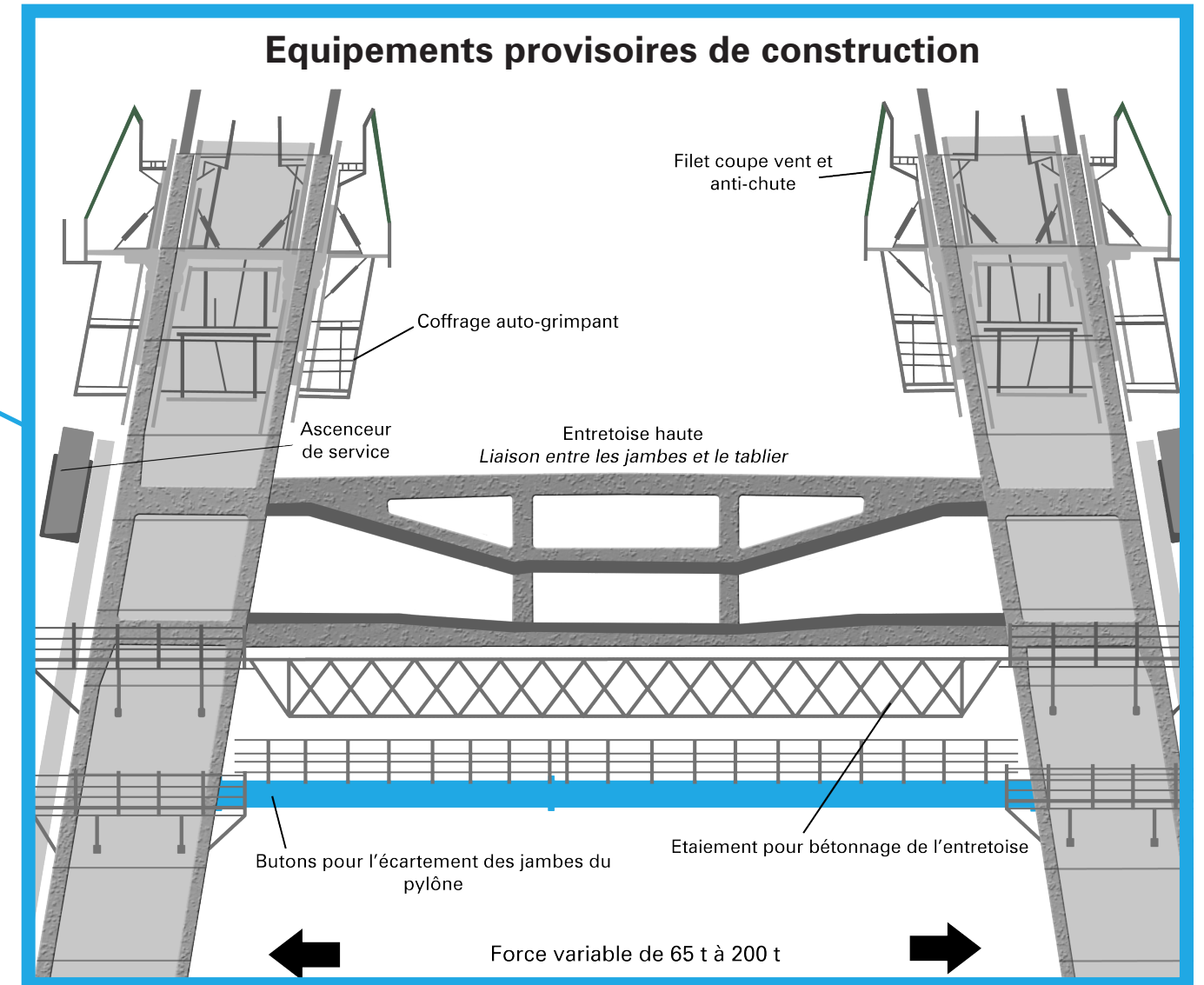
Phase 3

Printemps 1993...

Tête mixte en cours. Grue attachée en 4 endroits.



Equipements provisoires de construction



Quelques chiffres... pour 1 pylône

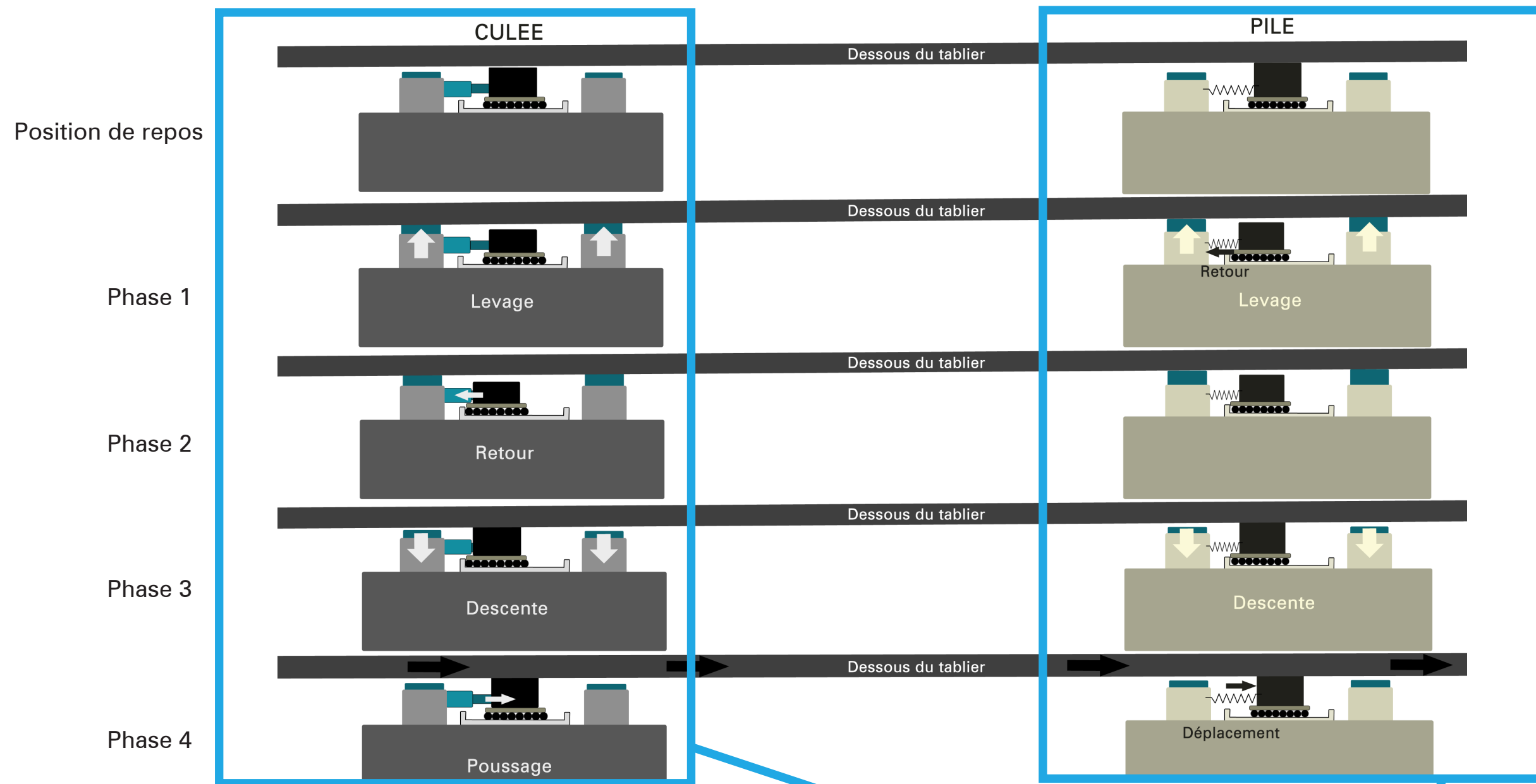
Hauteur : 214 m au-dessus marées basses
Poids : 20 000 t
Béton haute résistance 60 MPa : 7 600 m³
Armature d'acier : 11 700 t
Cables de précontrainte : 150 t
Tôles d'acier pour la tête : 270 t
Ancrage des haubans : 92 unités
Coût hors fondations : 12 M€ HT
Délai de réalisation : ≈ 1 an et demi

Viaducs d'accès

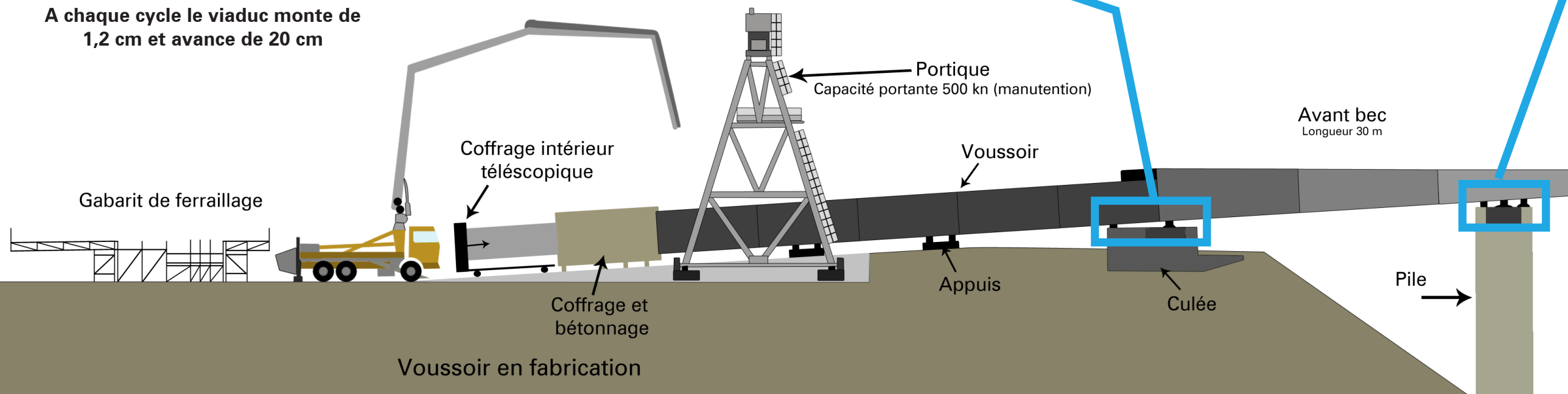


Viaducs d'accès

Construction et poussage des voussoirs

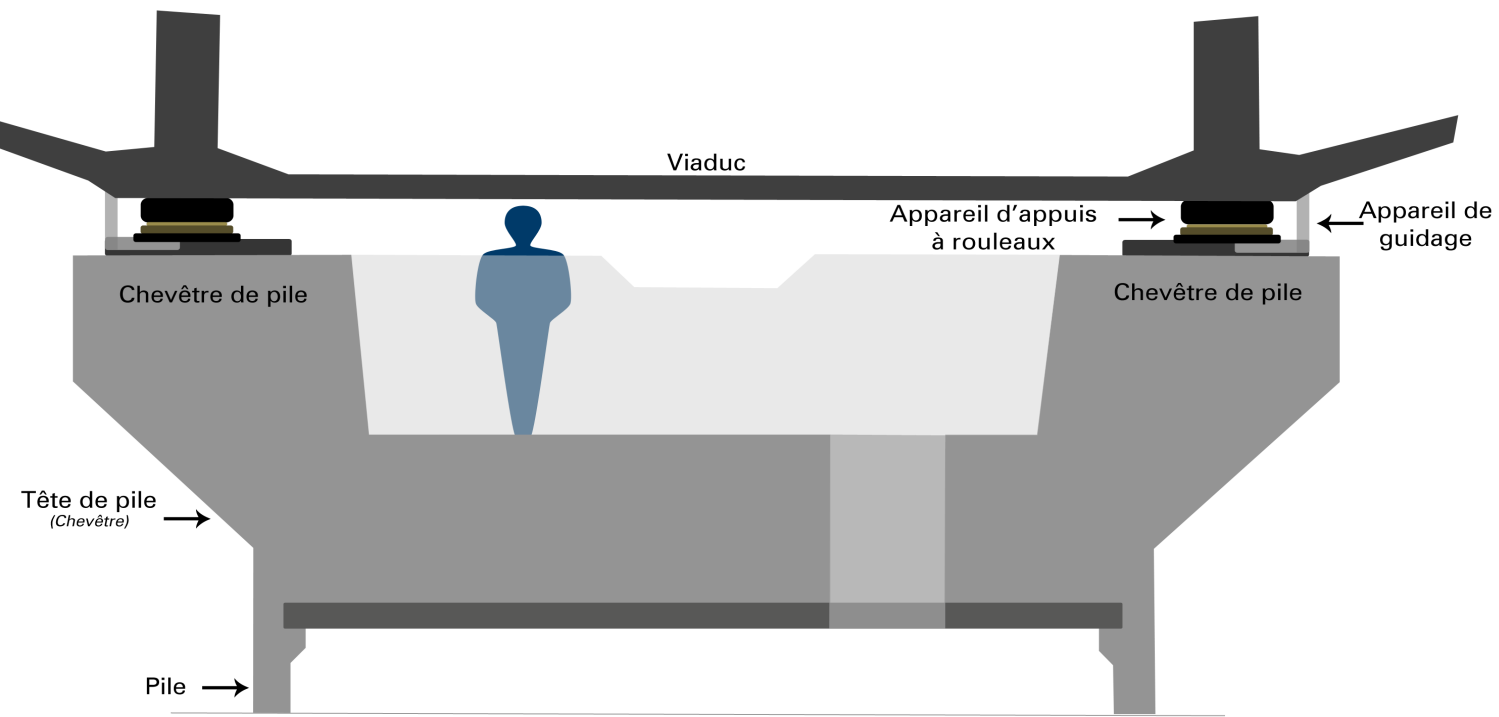


A chaque cycle le viaduc monte de 1,2 cm et avance de 20 cm



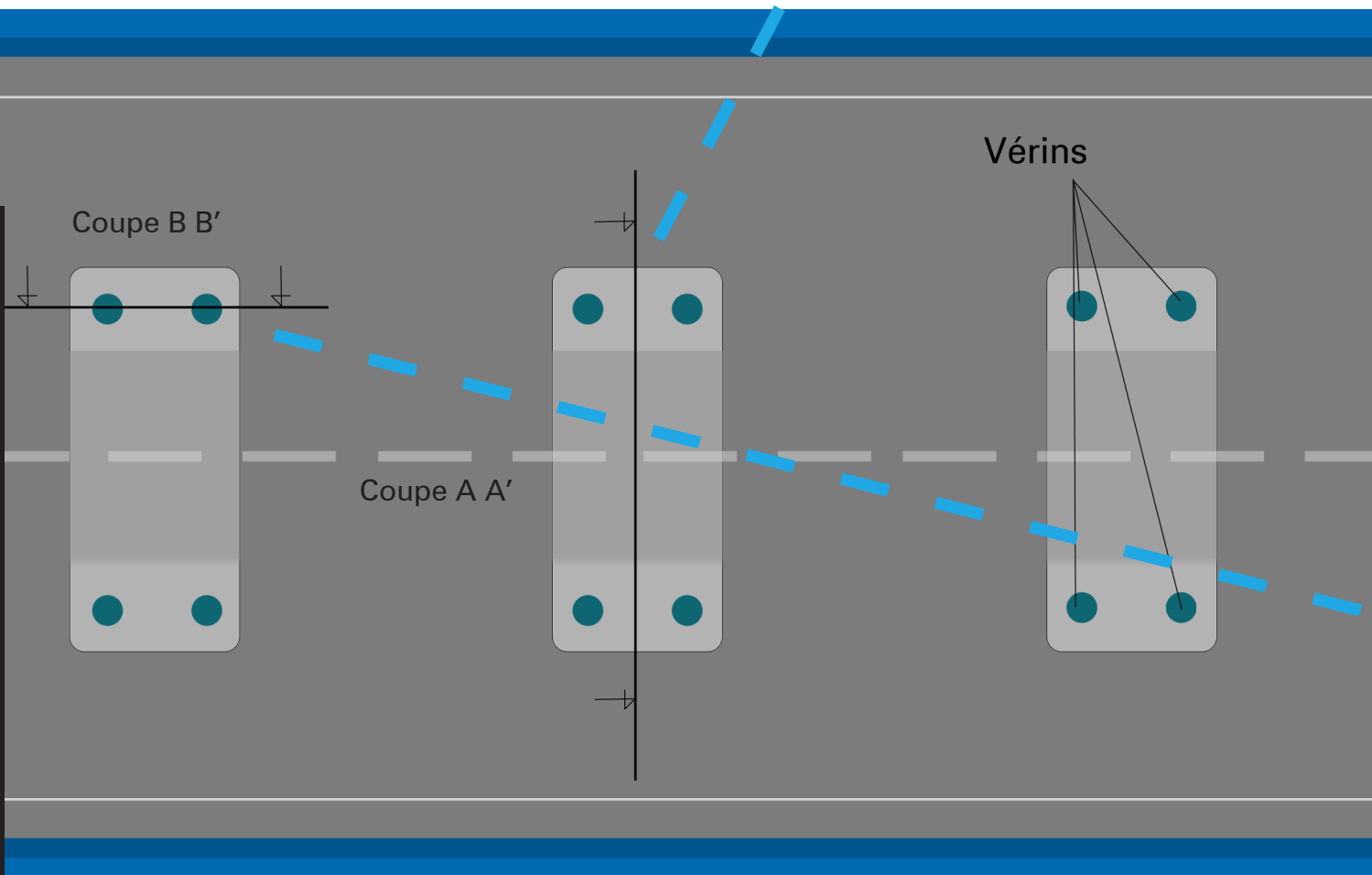
Viaducs d'accès

Construction et poussage des voussoirs



Emplacement appuis à rouleaux
Coupe A A'

Viaduc poussé
vue de dessus



Quelques chiffres...

Les viaducs :

Longueur : 650 m au Nord et 460 m au Sud

Poids : 26 000 t et 18 500 t

Pente : 6%

Le poussage :

Commande par ordinateur qui centralise les informations de :

70 vérins de 500 t coordonnés par automates

19 centrales hydrauliques

38 appuis à rouleaux

charge maxi 1000 t

coeff. frottement : 0,5%

Effort maxi de poussage :

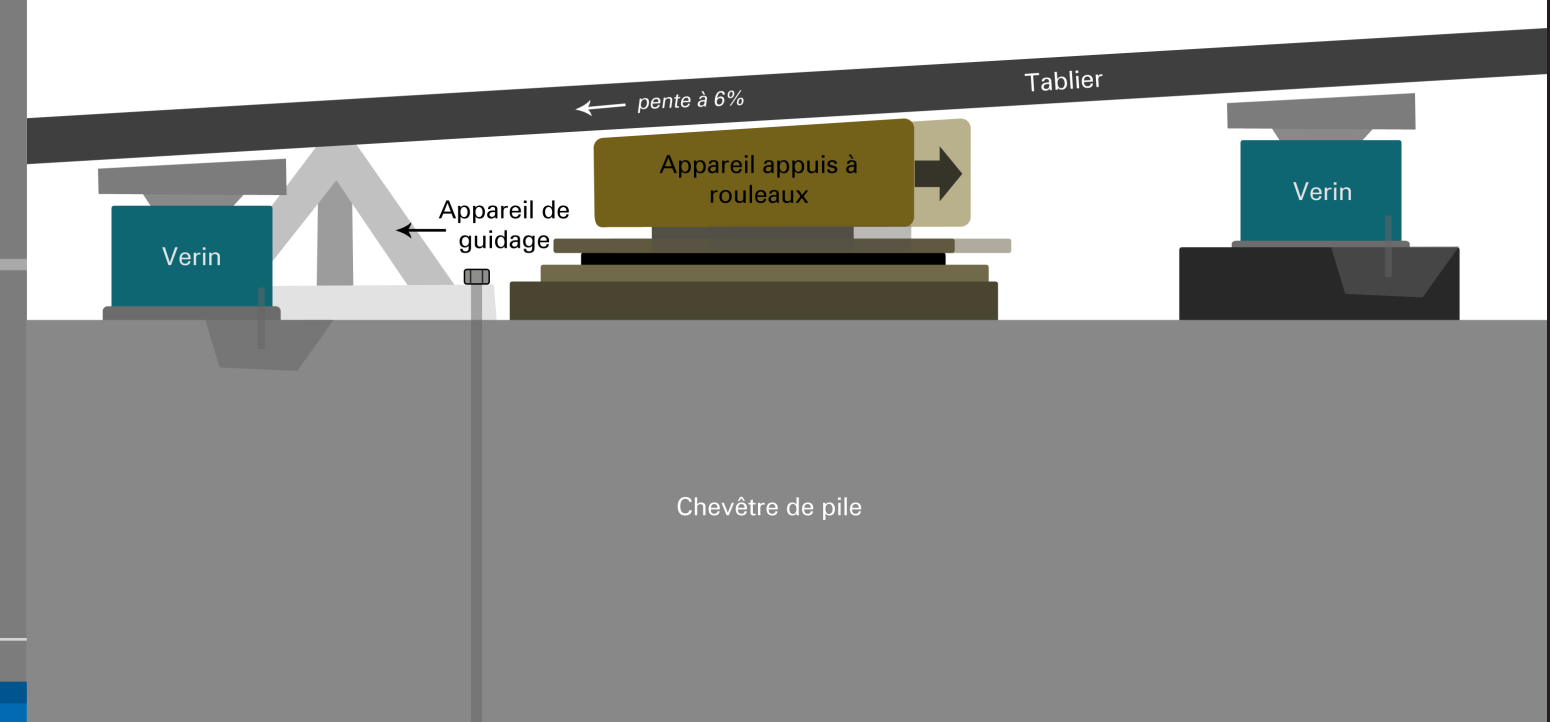
$26\,000\text{ t} \times 0,5\% = 130\text{ t}$

Avancement :

Un voussoir de 7,25 m tous les 2 ou 3 jours

Dispositif de poussage sur Pile

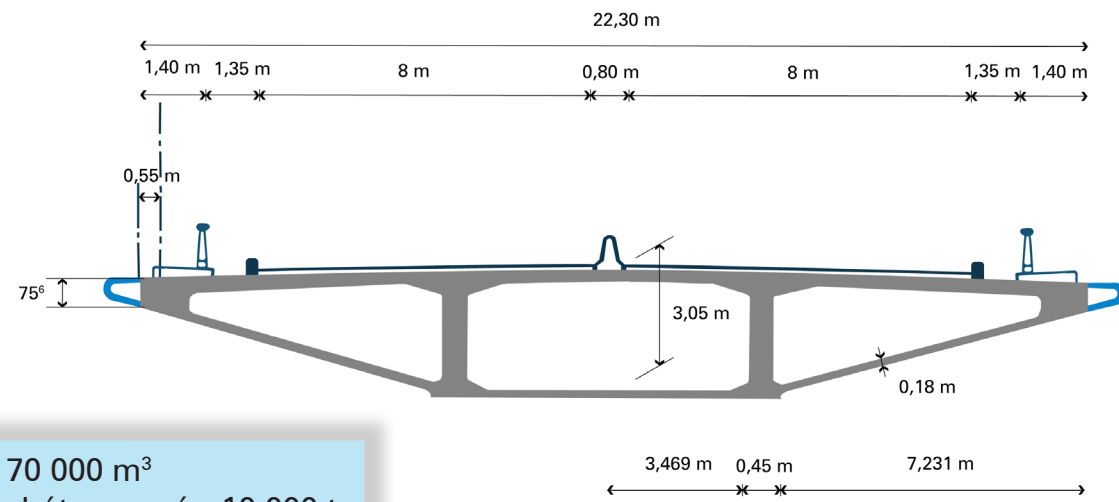
Coupe B B'



Viaducs d'accès

Comparatif des viaducs des ponts en Normandie...

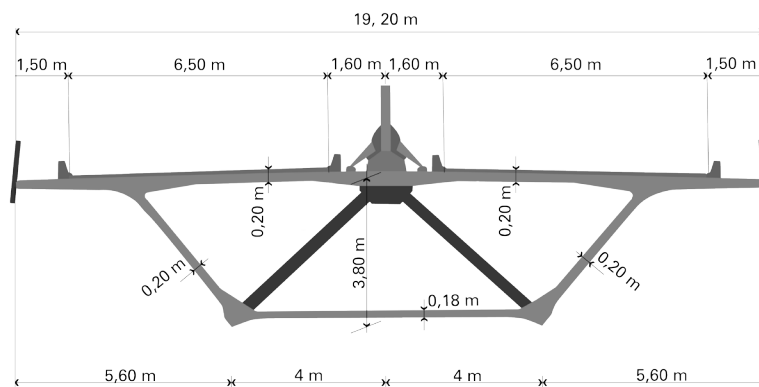
Viaduc béton du Pont de Normandie



Béton : 70 000 m³
Acier de béton armé : 10 000 t
Acier de précontrainte : 300 t
Acier des haubans : 2 300 t
Acier laminé : 5 600 t

Quelques chiffres...

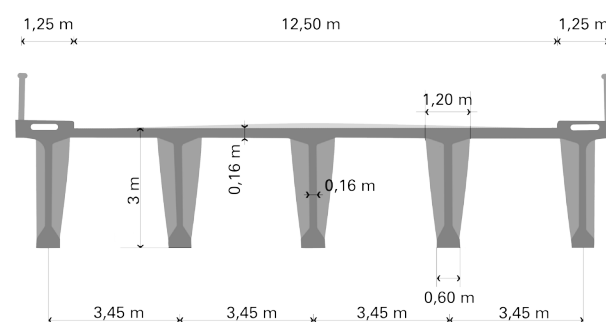
Viaduc béton du Pont de Brotonne



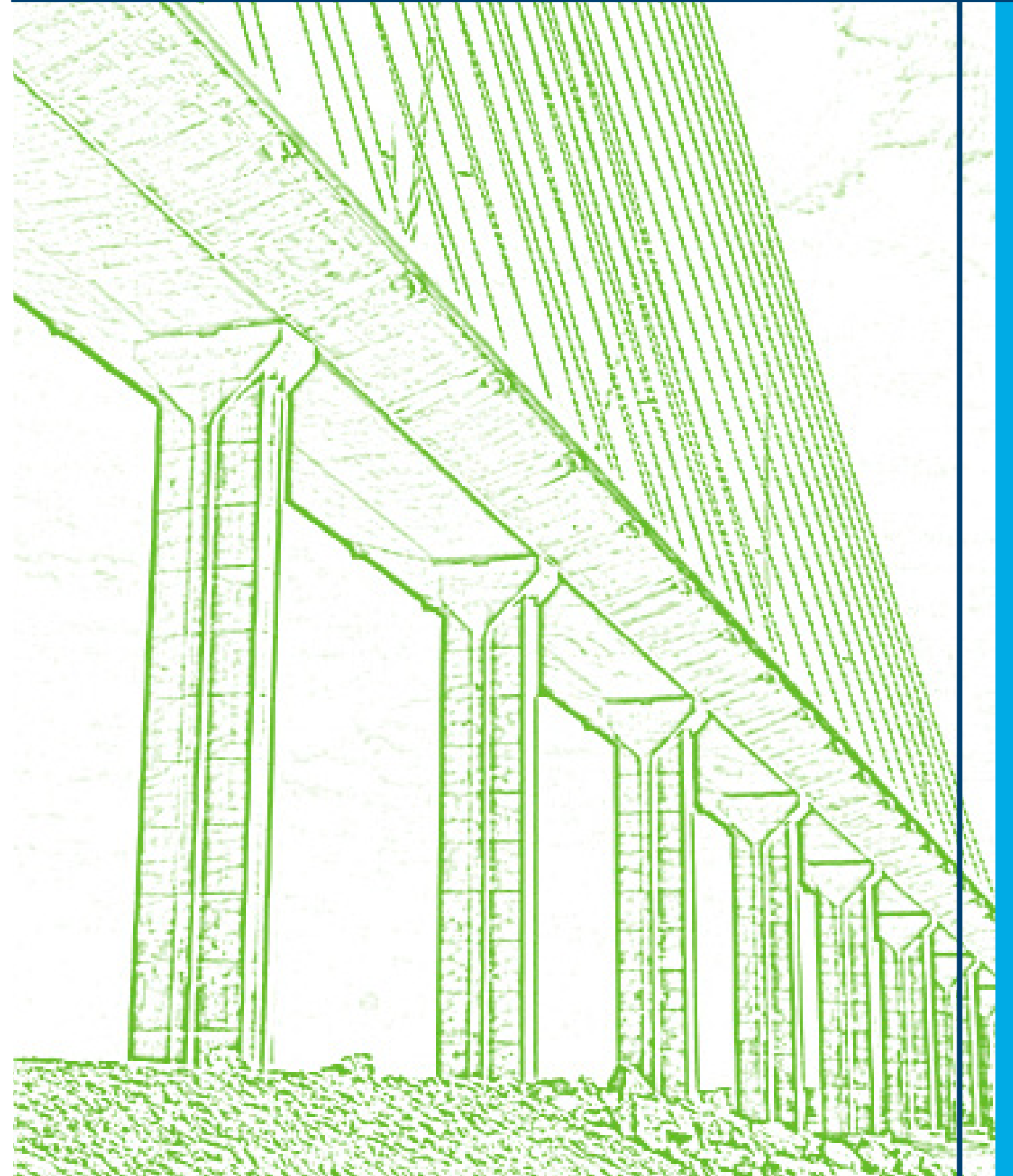
Béton : 34 100 m³
Acier de béton armé : 2 230 t
Acier de précontrainte : 610 t
Acier des haubans : 530 t

Viaduc béton du Pont de Tancarville

Béton : 70 800 m³
Acier de béton armé : 6 000 t
Acier de précontrainte : 460 t
Acier des cables porteurs : 3 350 t
Acier pour travée suspendue : 8 820 t



Tablier en encorbellement



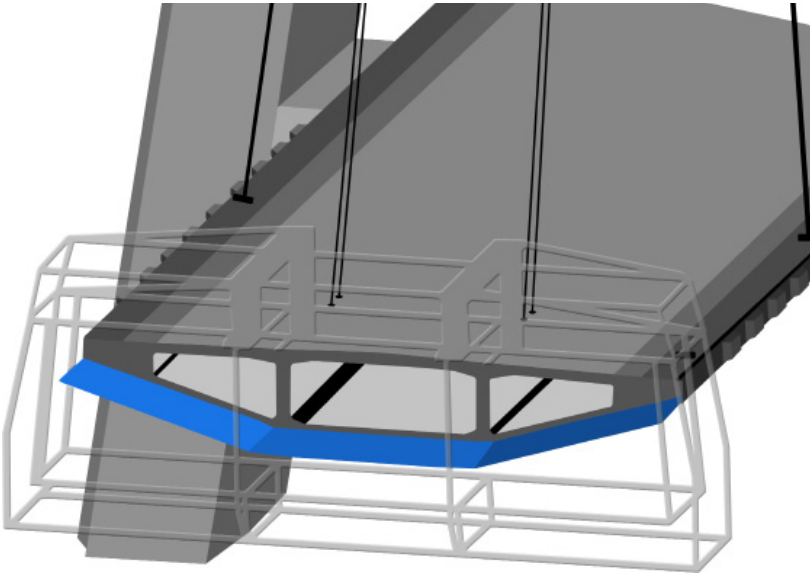
Tablier en encorbellement

Construction du tablier

Cinématique de construction du tablier en encorbellement

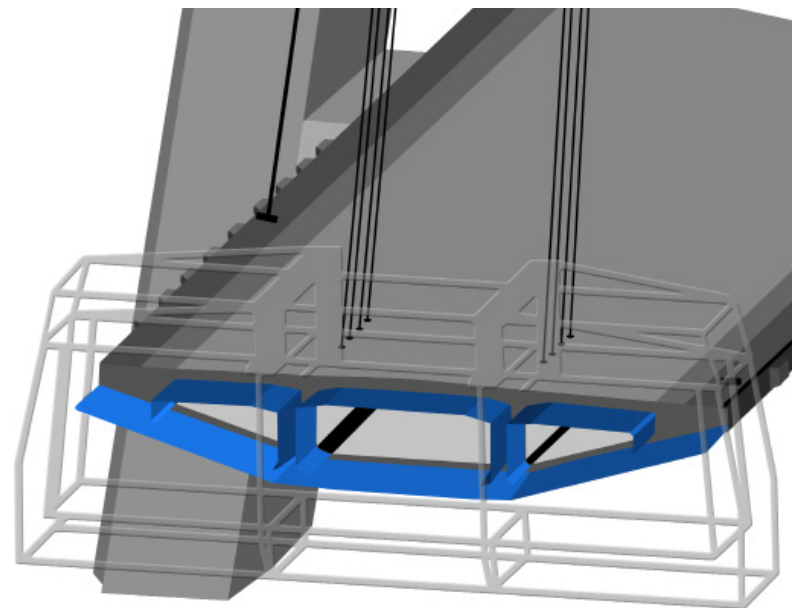
Etape 1

Avancement fond de moule et pose des armatures inférieures.



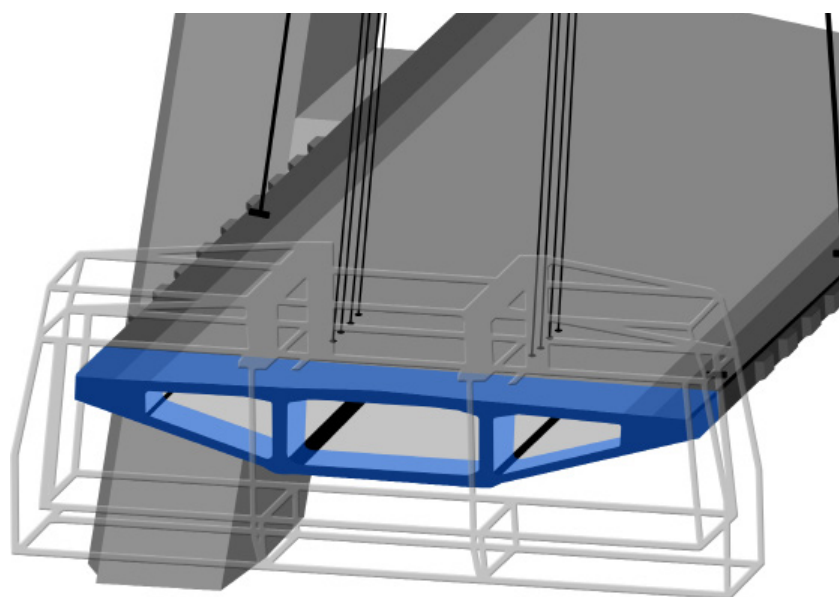
Etape 2

Pose des haubans provisoires.
Avancement coffrages intérieurs.
Pose des armatures supérieures.



Etape 3

Bétonnage, décoffrage, avancément équipage.



Quelques chiffres...

Longueur des encorbellements :

côté fleuve : 116 m

côté terre : 96 m

Longueur des tronçons :

courant : 2,72 m

haubanné : 2,40 m

Nombre de tronçons par pylône : 73

Poids d'un tronçon : ≈ 140 t

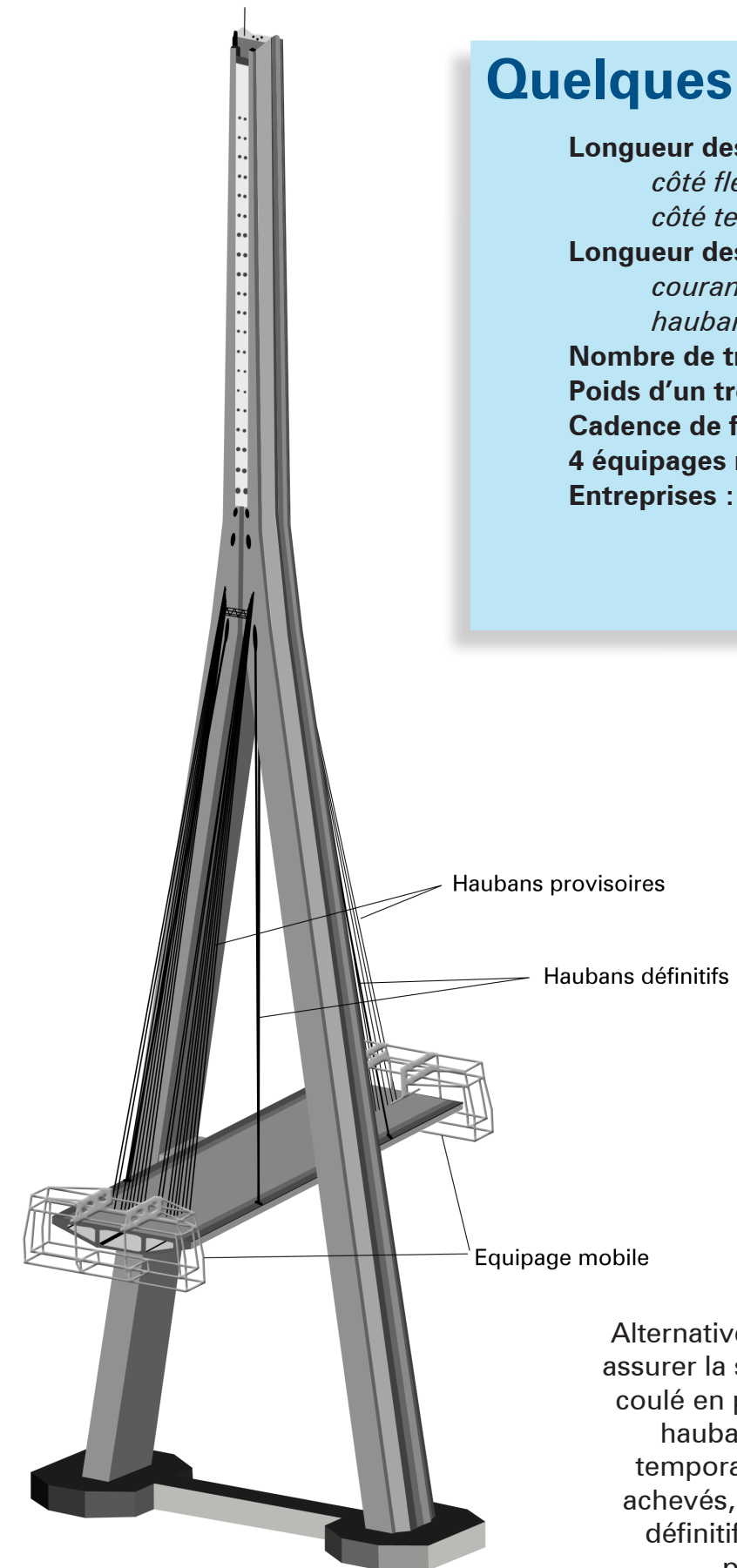
Cadence de fabrication : 2 tronçons / semaine

4 équipages mobiles pesant chacun : 145 t

Entreprises : G.I.E.

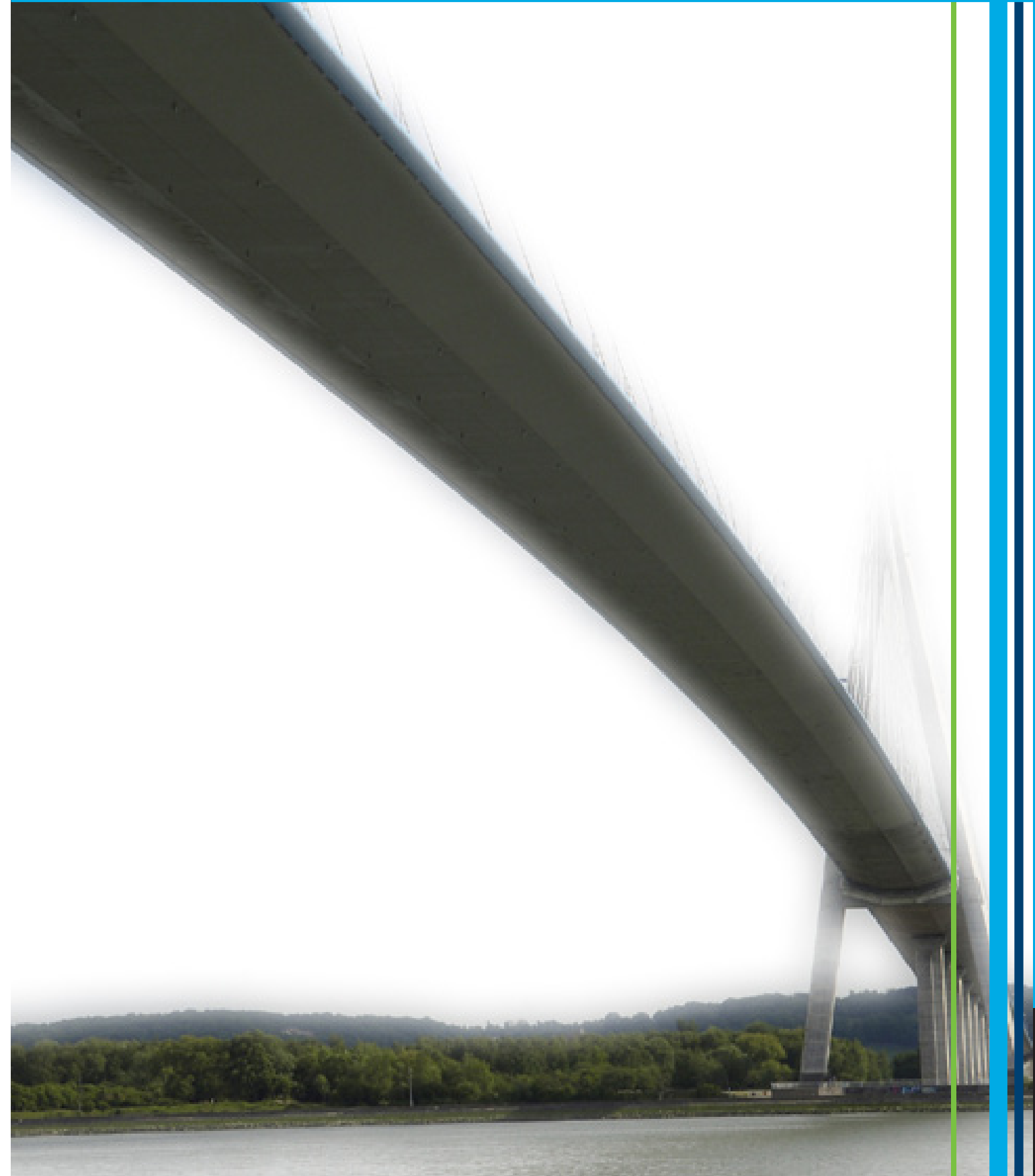
PAIMBOEUF / FREYSSINET

B.W.B.



Alternativement côté terre et côté fleuve pour assurer la stabilité par symétrie, un tronçon est coulé en place puis arrimé au pylône par des haubans provisoires qui le supportent temporairement. Lorsque 5 tronçons sont achevés, le 6^{ème} reçoit une paire de haubans définitifs et les haubans provisoires sont progressivement démontés.

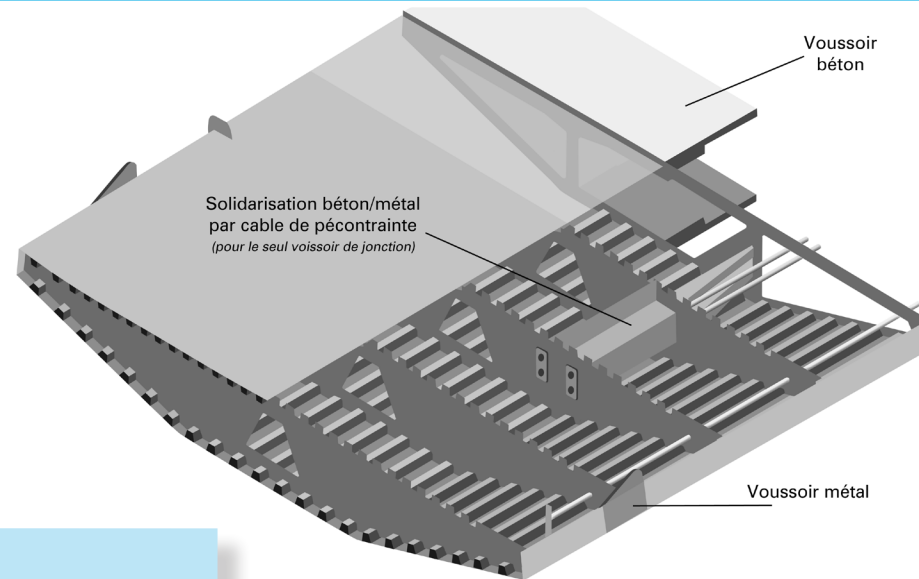
Tablier métallique



Tablier en encorbellement

Conception du tablier

Ecorché d'un voussoir assemblé



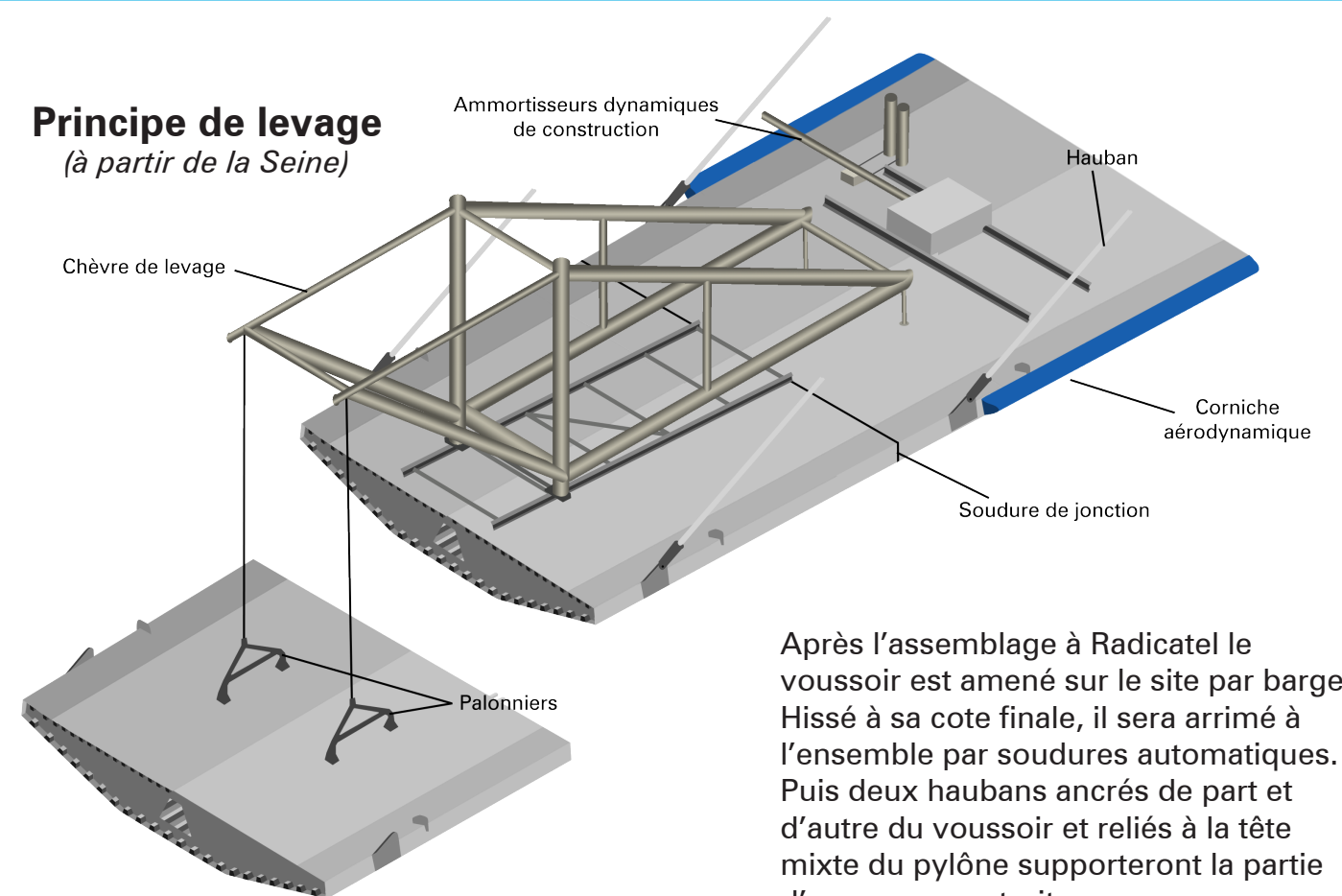
Quelques chiffres...

Longueur du tablier métallique : 624 m
 32 voussoirs + 1 voussoir central
Poids : 5 600 t soit 180 t par voussoir courant
Peinture polyuréthane extérieure : 16 600 m²
 2 circuits de déshydratation de l'air contre la corrosion intérieure
Principales entreprises :
 MONBERG et THORSEN (Danemark)
 MUNCH et LOZAI (sous-traitant fabrication)
 SDEM (sous-traitant levage)
Montant du marché métal :
 (valeur 1988) 62 M€ TTC dont 26 M€ pour le tablier et 23 M€ pour les haubans
Sous-traitant : FREYSSINET

Tolérances de fabrication :

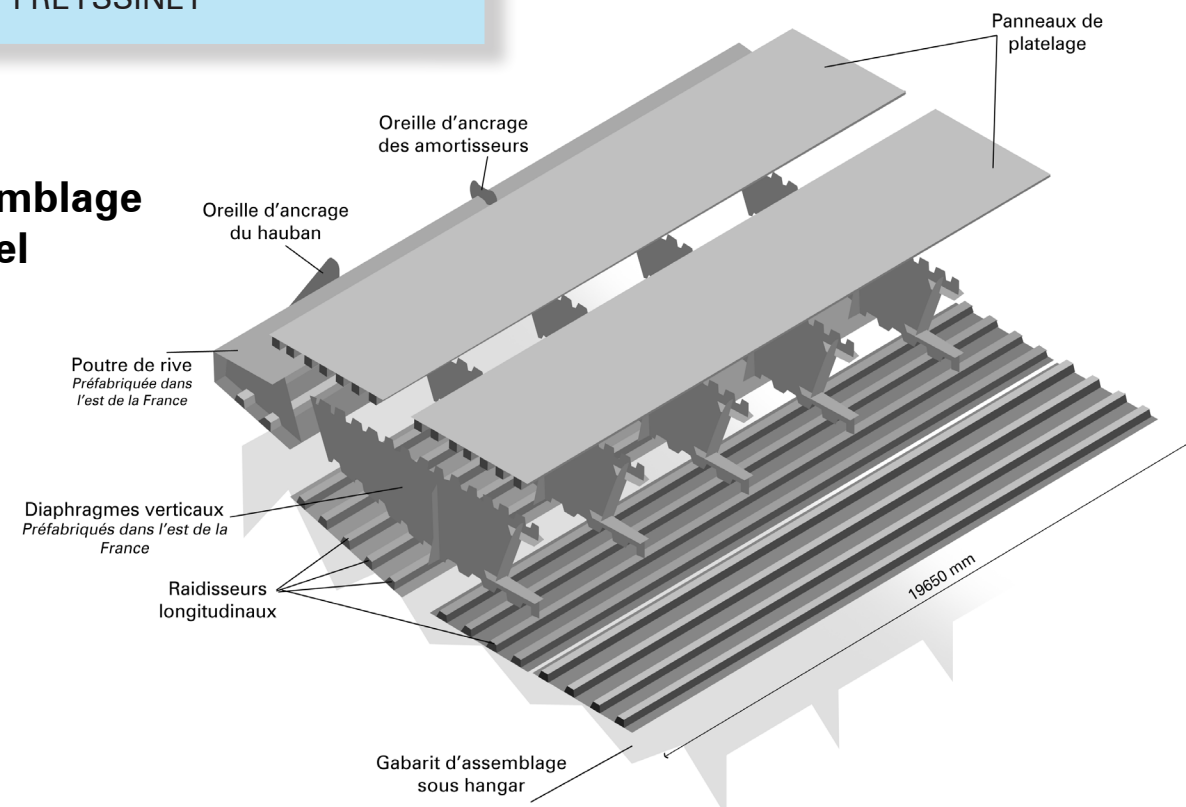
Largeur : de +7 à -3 mm
Longueur : de +2 à -2 mm
Hauteur : de +5 à -3 mm
Raidisseurs : 2 mm avant et soudage
Diaphragmes : 2 mm avant et soudage

Principe de levage (à partir de la Seine)

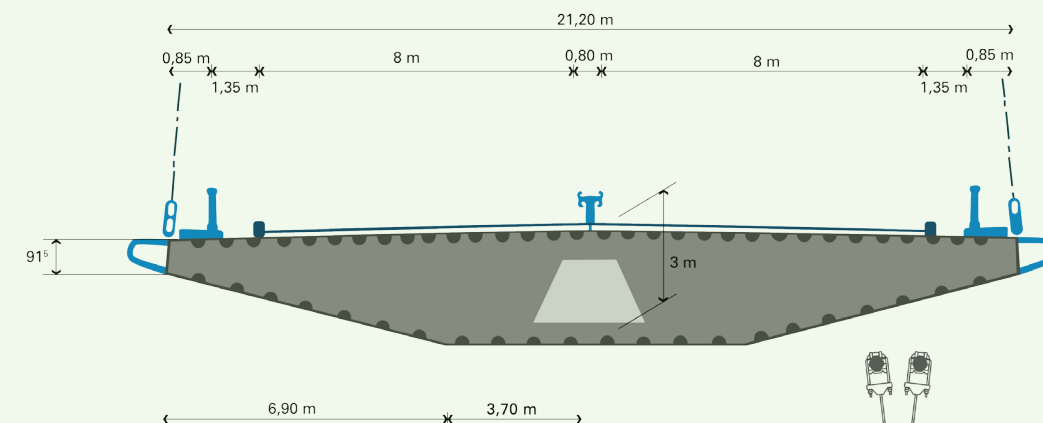


Après l'assemblage à Radicatel le voussoir est amené sur le site par barge. Hissé à sa cote finale, il sera arrimé à l'ensemble par soudures automatiques. Puis deux haubans ancrés de part et d'autre du voussoir et reliés à la tête mixte du pylône supporteront la partie d'ouvrage construite. A ce moment la chèvre peut alors se déplacer pour amener le voussoir suivant.

Principe d'assemblage à Radicatel

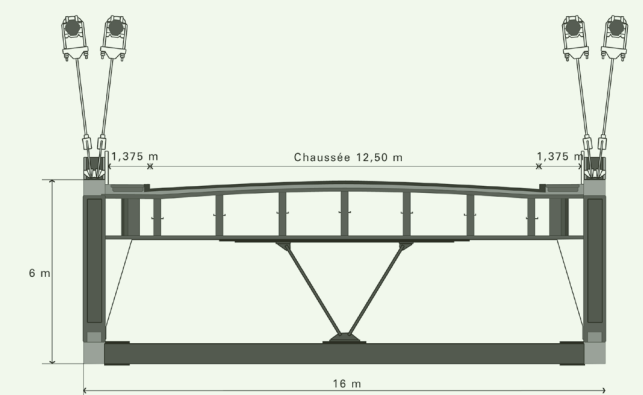


Comparatif...



Travée métallique du Pont de Normandie

Travée métallique du Pont de Tancarville



Tablier en encorbellement

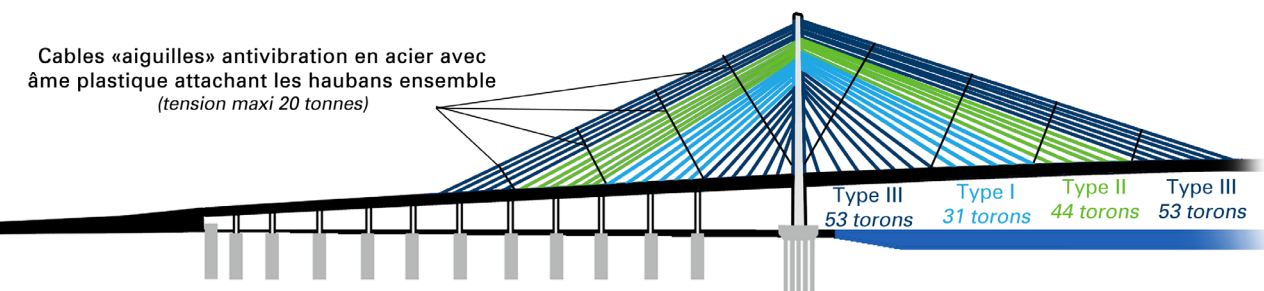
Conception du tablier

Quelques chiffres...

Nombre de haubans : $8 \times 23 = 184$
Longueurs :
 plus petit : 95 m
 plus grand : 450 m
Diamètre maxi d'un hauban : 0,168 m
Diamètre d'un toron (7 fils) : 15,7 mm
Nombre de torons par hauban : de 31 à 53
Résistance à la rupture d'un toron : 27 t
Tension de service : 10 t
Poids d'un toron : 1,178 kg/ml
Longueur totale des torons : 1800 km
Entreprise : FREYSSINET
Coût : 30 M€ TTC

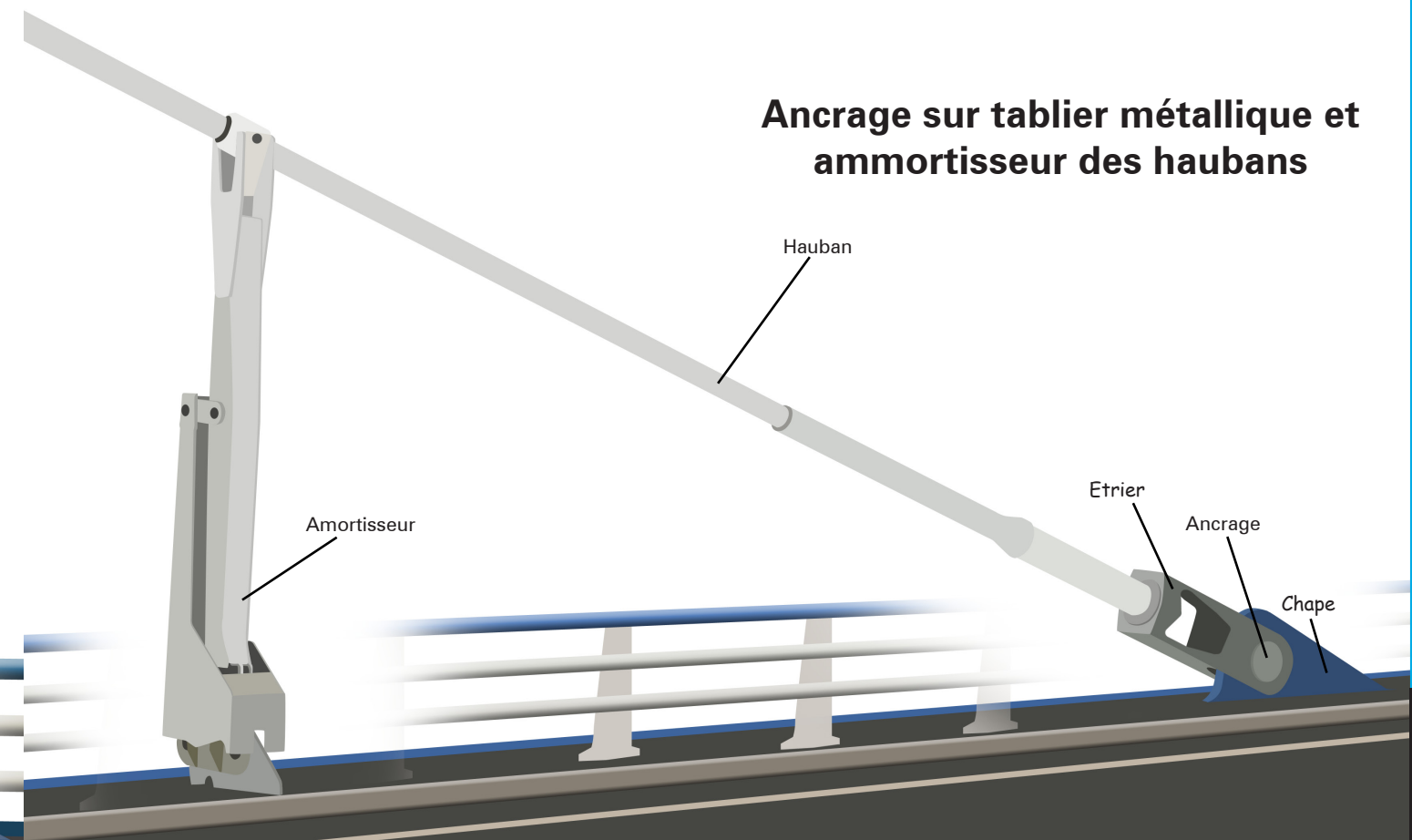
Les haubans du Pont de Normandie constituent des éléments essentiels de la structure puisqu'ils supportent toute la travée centrale de 856 m. Leur taille relativement faible et la possibilité de les démonter individuellement à tout moment illustrent l'avantage des ponts à haubans par rapport aux ponts suspendus pour le coût et les possibilités d'entretien.

Répartition des haubans sur le tablier

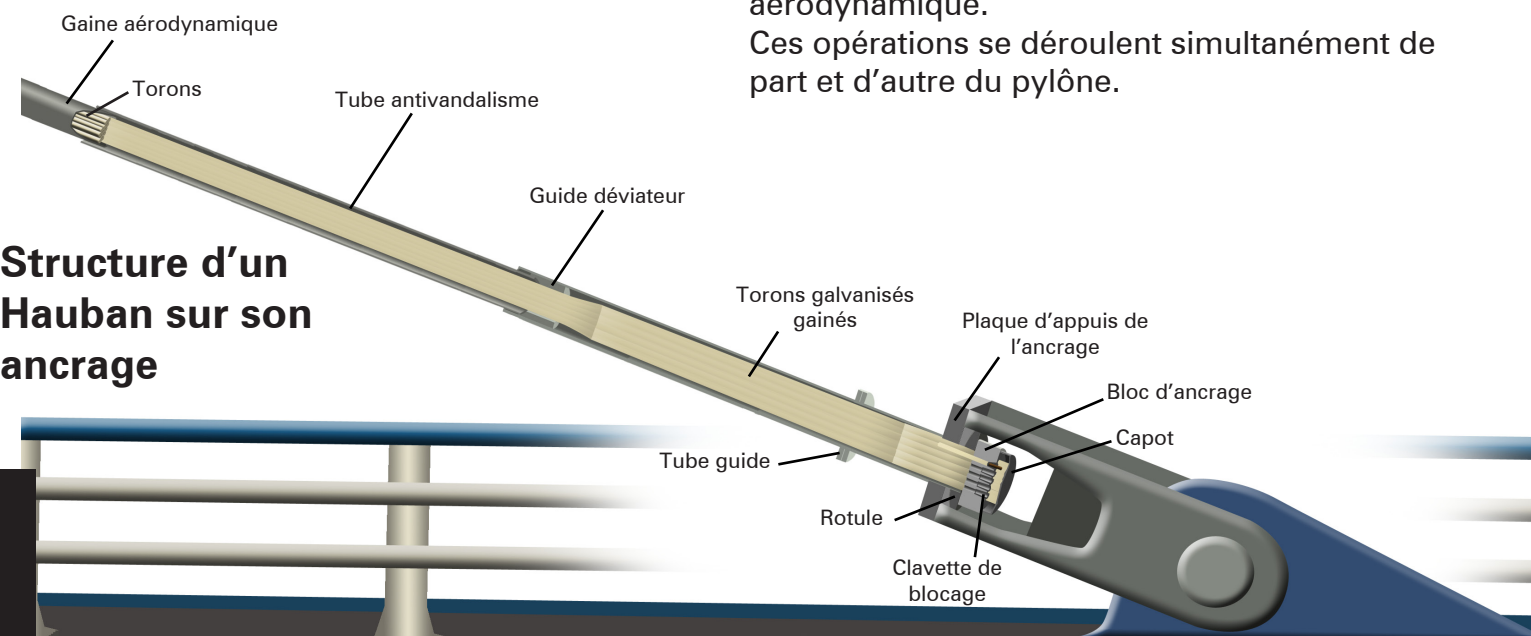


Un hauban est formé de plusieurs torons. Ceux-ci sont déroulés, coupés et hissés par paire à l'aide d'un petit téléphérique, puis ancrés à la tête métallique et au tablier. Après mises en tension successives au vérin par isotension (équilibrage des tensions entre torons) et contrôle géométrique de l'ouvrage, les torons sont protégés par une gaine aérodynamique. Ces opérations se déroulent simultanément de part et d'autre du pylône.

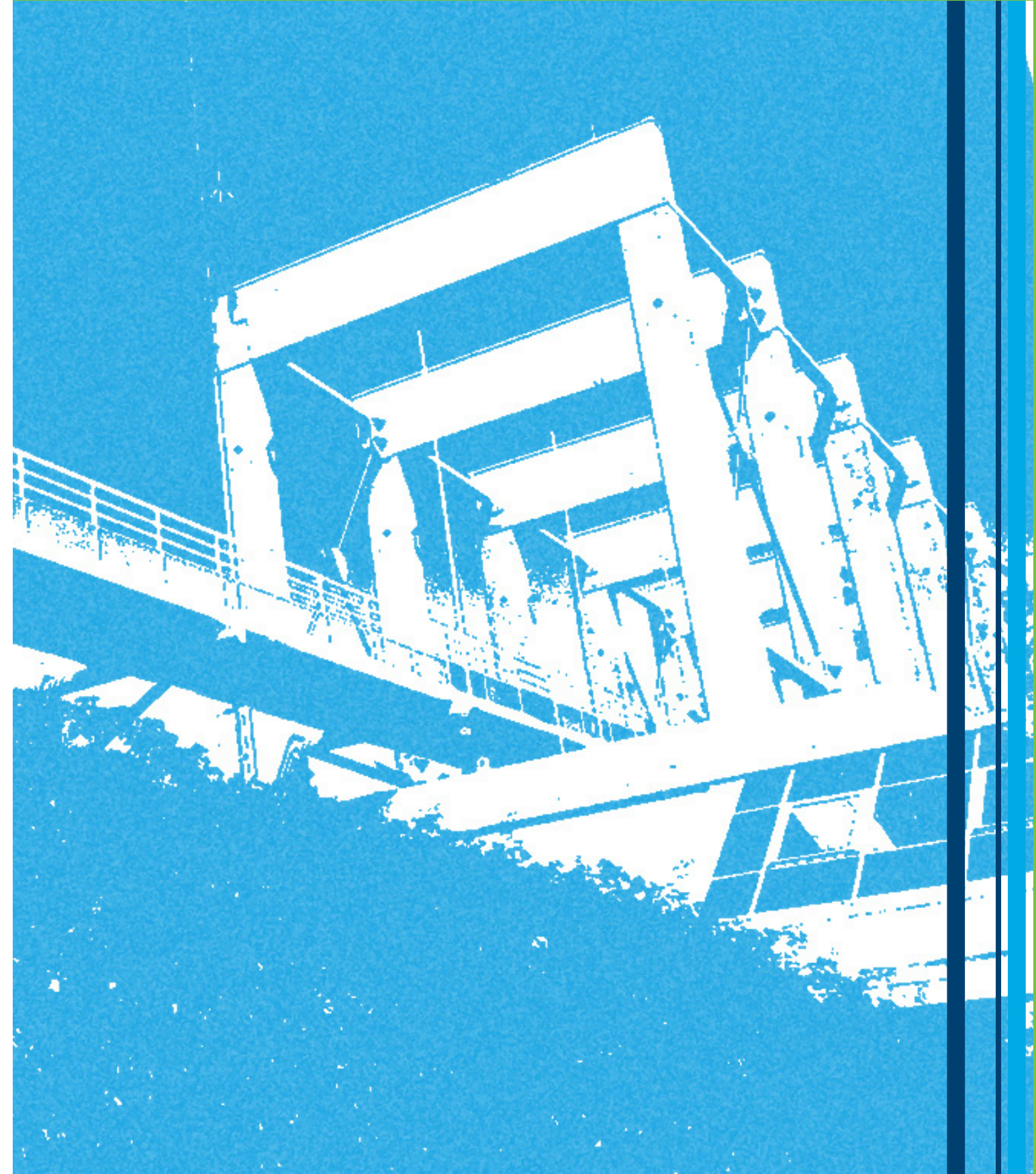
Ancrage sur tablier métallique et amortisseur des haubans



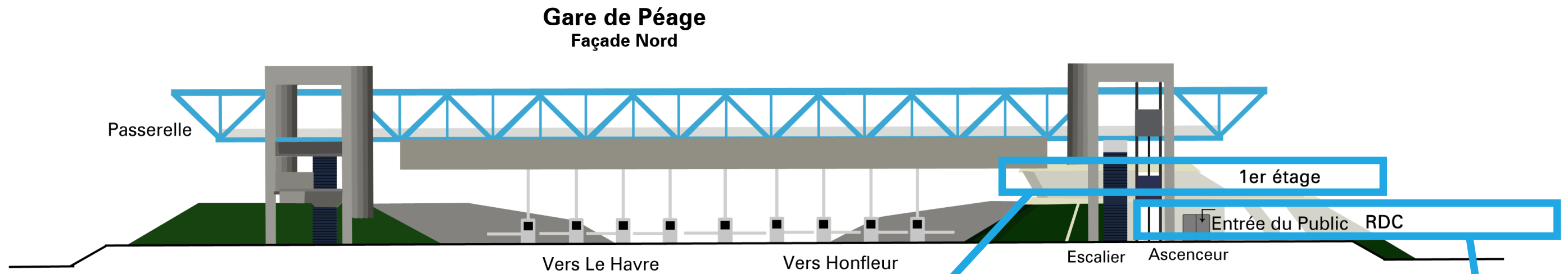
Structure d'un Hauban sur son ancrage



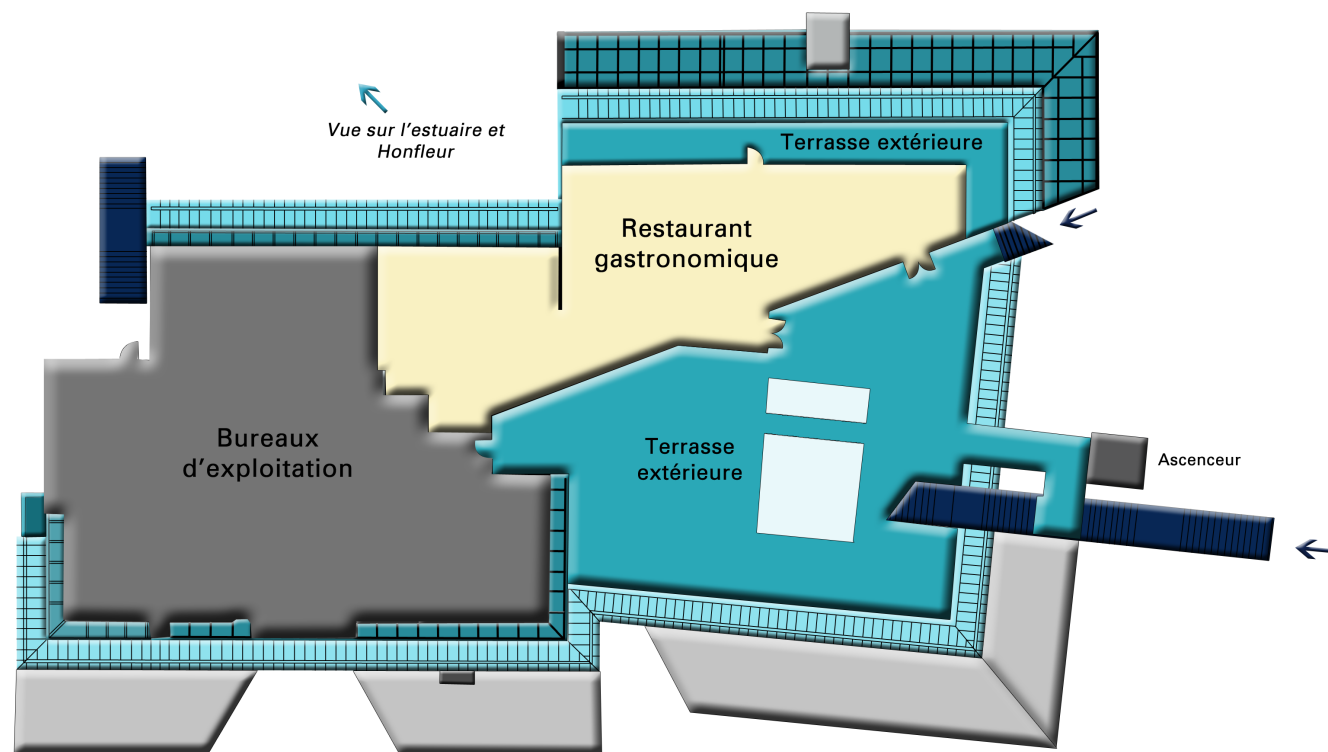
Bâtiment d'exploitation



Bâtiment d'exploitation



1er Etage

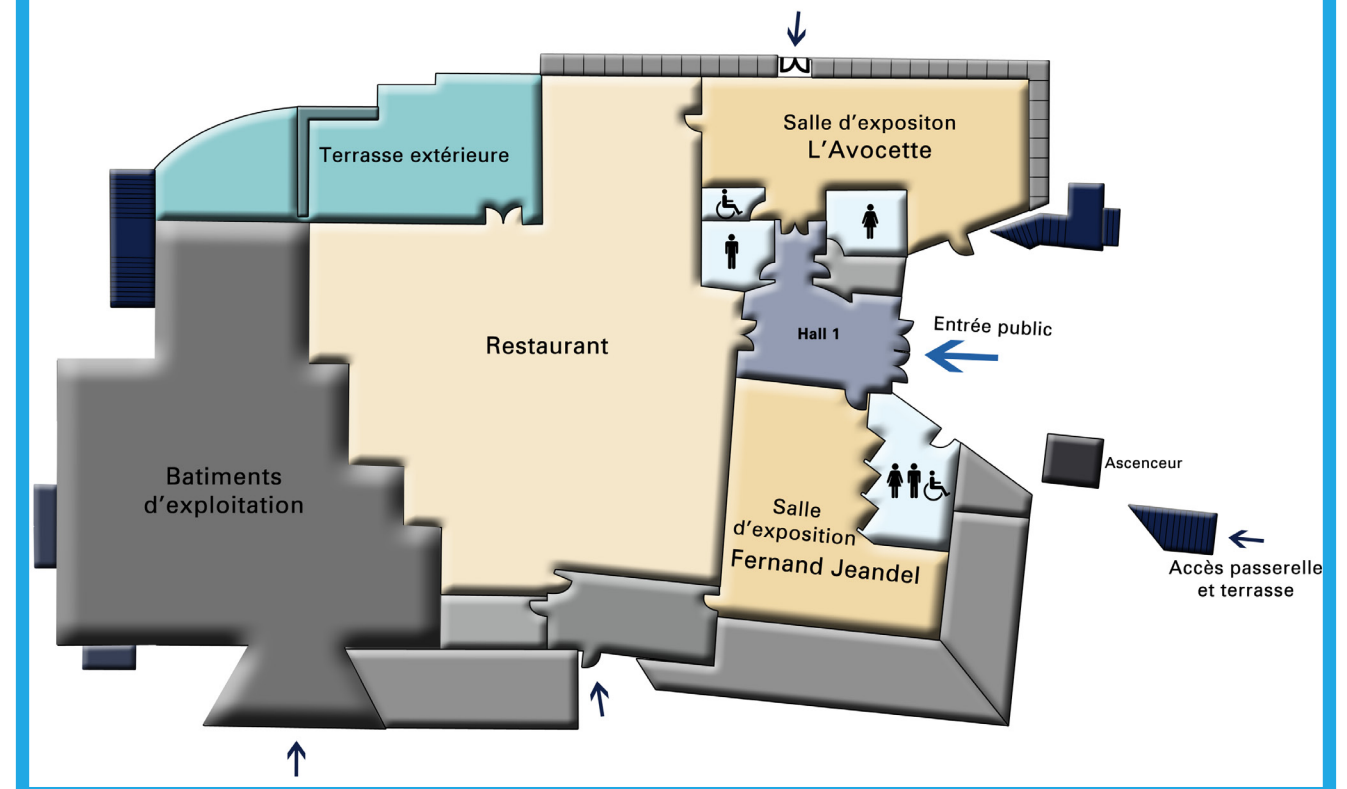


Le bâtiment d'exploitation du Pont de Normandie comporte des bureaux de gestion de péage, ainsi que des espaces d'accueil du public : salles d'information (écologie, technique,...), restaurant et sanitaires.

Il est desservi par deux parkings situés de part et d'autre de la route, représentant près de 200 places.

Un circuit de visite est organisé pour les piétons, il emprunte des escaliers (un ascenseur pour les handicapés) pour accéder à la passerelle qui enjambe la barrière de péage.

Rez de chaussée



Fiche signalétique...

Maitrise d'oeuvre : ACAUM / ETB / INES

Début des travaux : janvier 1993

Fin des travaux (hors passerelle) : janvier 1994

Principale entreprise (gros oeuvre) : Génie Civil Havrais

Montant des travaux (hors équipement de péage) : 3 M€

Ouverture des restaurants et salles d'exposition : avril 1994