

L'évolution des ports

Du simple abri aux études de plans directeurs portuaires

L'évolution du transport maritime

- **Le transport maritime mondial à la fin du XIX^e siècle**

- En 1913, juste avant la Première Guerre mondiale, le commerce maritime mondial atteint environ **300 millions de tonnes** de marchandises, en forte croissance grâce au développement des navires à vapeurs

- **Les principales routes et types de marchandises**

- **Trafic transatlantique** : L'axe entre l'Europe et l'Amérique du Nord est l'un des plus dynamiques, notamment pour les produits manufacturés européens et les matières premières américaines (**coton, céréales, pétrole**).
- **Routes coloniales** : Les empires coloniaux européens (France, Royaume-Uni, Pays-Bas) organisent des flux réguliers entre métropoles et colonies : **épices, café, thé, sucre, caoutchouc, bois exotiques, minerais**.
- **Routes asiatiques** : L'ouverture du canal de Suez en 1869 révolutionne les échanges avec l'Asie, réduisant considérablement les distances vers l'Inde, la Chine et le Japon.
- **Trafic intra-européen** : Le **cabotage** et les échanges entre ports européens (Liverpool, Hambourg, Marseille, Anvers) restent très actifs, notamment pour les **produits industriels et agricoles**.

Les ports à la fin du XIX siècle

- **Les anciens ports :**

- **Des ports « abris naturels »**

- ils ont « squatté » les **sites favorables** (baies, estuaires, rades, abris, ...)
 - France : Graveline, Fécamp, Dieppe, Rouen, Nantes, Rochefort, Tonnay-Charente, la Rochelle, Bordeaux, Toulon, ...
 - Europe : Rotterdam, Londres, Lisbonne,
 - Hong Kong, New York, ...

- **Des caractéristiques adaptées aux navires**

- Des navires de taille modeste, qui restaient **90 % du temps à quai ou en rade**, et 10 % en mer :

- ➔ Des transferts de bateaux à barge (ou même barques) s'il n'y avait pas de quais ou d'abris naturels (, ...)
 - ➔ Des infrastructures limitées (des tirants d'eau faibles, voire < 4 m) et des moyens de manutention « à taille humaine »
 - ➔ Pour les grands ports, d'important linéaires de quais, le long des fleuves, avec peu de terre-pleins et des magasins « bord à quai », ou dans des ports en darse (en râteaux)
 - ➔ Des volumes de transports limités, et des temps de transports mal maîtrisés, peu de mécanisation, une main d'œuvre nombreuse, ...
 - ➔ Exemples du Mozambique, de Macao, de Hong Kong, Nouadhibou, ... dans les années 1980-90

Vu du port de Bordeaux en 1835



02/12/2025

Claude TORCHON / Yves MARCELLIN

4

Les principaux ports français et leur trafic vers 1900

Marseille	Produits coloniaux, pétrole, céréales	~4 à 5 millions de tonnes/an
Le Havre	Coton, café, cacao, passagers transatlantiques	~3 à 4 millions de tonnes/an
Bordeaux	Vins, bois, cacao, commerce avec l'Amérique	~2 millions de tonnes/an
Rouen	Céréales, charbon, produits industriels	~1,5 million de tonnes/an
Nantes	Sucre, bananes, commerce colonial	~1,5 million de tonnes/an
Calais	Trafic passagers avec l'Angleterre	Moins de 1 million de tonnes/an

Ces ports s'équipent progressivement de docks, grues, entrepôts et voies ferrées, mais restent souvent sous-dimensionnés par rapport à leurs concurrents européens

Des anciens ports aux ports modernes

- **Les ports “sortent” en mer**

- Les sites naturellement protégés sont rares (Toulon) et souvent inadaptés
- Transferts des ports “intérieurs” vers les embouchures d’estuaires
 - Rouen → le havre
 - Nantes → St Nazaire
 - Bordeaux → le Verdon

- **Des ports « en mer »**

- Dunkerque
- Antifer
- La rochelle
- Marseille
- Sète
- Port-La Nouvelle

- **Des ports « dans les terres »**

- Fos

- **Des sites de plus en plus rares, de plus en plus chers, de plus en plus complexes techniquement et souvent en conflit avec d’autres enjeux,**

Bordeaux

- Port initial dans la ville
- Aujourd'hui, le Grand Port Maritime de Bordeaux dispose de 7 terminaux spécialisés répartis entre Bordeaux et Le Verdon (100 km de Bordeaux).



L'exemple de Bastia

Son évolution dans le temps



Année 1800



Année 1926



Année 1930



Année 1950



Années 1966-1968



Années 1966-1968

Le port actuel



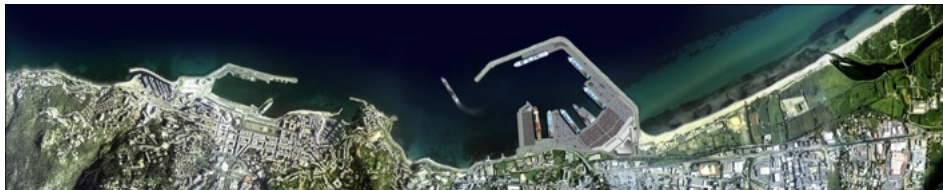




Futur port de Bastia

- **Démarrage de l'étude 2002** : Etude d'identification des besoins, de faisabilité- reconnaissance et études préliminaires y compris environnementales- Etude du **site** du port actuel et d'un nouveau site **Etude d'extension sur l'ancien port / Etude d'un nouveau port**
- **Analyse multicritère comparative port actuel / nouveau site pour orientation du choix**
- **Débat public 2006-2007-** choix entre extension ancien port ou nouveau site de Carbonite
 - → Choix du site de la Carbonite par la CTC
- Etudes **environnementales** complémentaires (présence de posidonies)
- Procédure de **dérogation environnementale-** autorisation 2013 (mesures **compensatoires** importantes)
- Etudes de projet (Coût 5 M€)
- Enquête publique (1 an)
- **Chantier initialement prévu en 2018 pour une mise en service 2022 ?** → Coût 600M€
- Nouvelles études en cours après mise en cause du projet (changements politique en Corse) puis retour sur le projet Carbonite, mais avec « optimisation » du projet et perspectives de nouveaux types de navires (RORO purs) → nécessité d'un nouveau débat public (à venir)

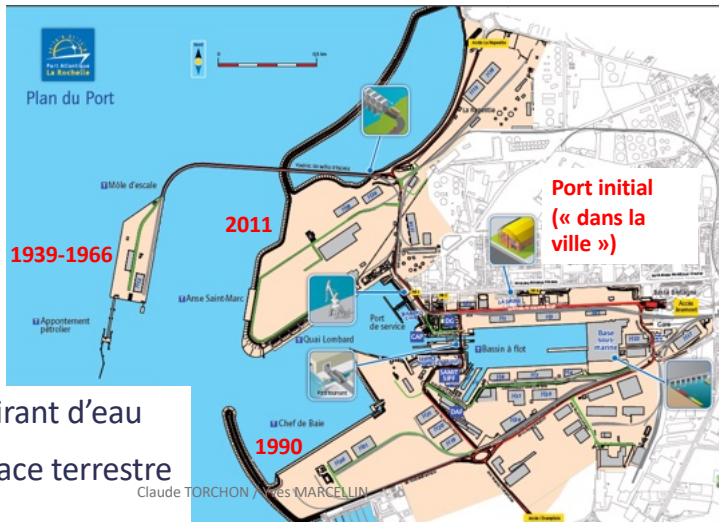
Procédures lourdes, longues et coûteuses : pendant ce temps le port actuel fonctionne sous un régime dérogatoire, avec des réels risques, des navires spécifiques énergivores et des coûts élevés pour la collectivité.



02/12/2025

La Rochelle

- Port de vracs : céréales 42%, produits pétroliers 29%, produits forestiers 10%



⊙ 13,50 m de tirant d'eau

⊙ 233 ha d'espace terrestre

02/12/2025

Claude TORCHON / Jérémy MARCELLIN

La Rochelle, Chef de Baie



02/12/2025

Claude TORCHON et Yves MARCELLIN

La Rochelle, terminal pétrolier



02/12/2025

Claude TORCHON et Yves MARCELLIN

Bordeaux, Le Port du Verdon

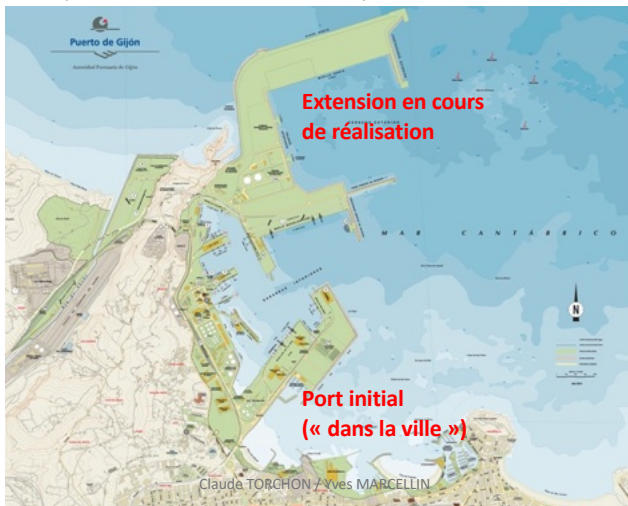


02/12/2025

Claude TORCHON & Yves MARCELLIN

Gijon (Espagne)

- Gijón est le premier port de vracs solides d'Espagne: charbon 52%, minerai de fer 38%, ciment 5%



Port de Bilbao (Espagne)

- Vrac liquides: 18Mt
- Vrac solides: 4Mt
- Divers: 10Mt

1975



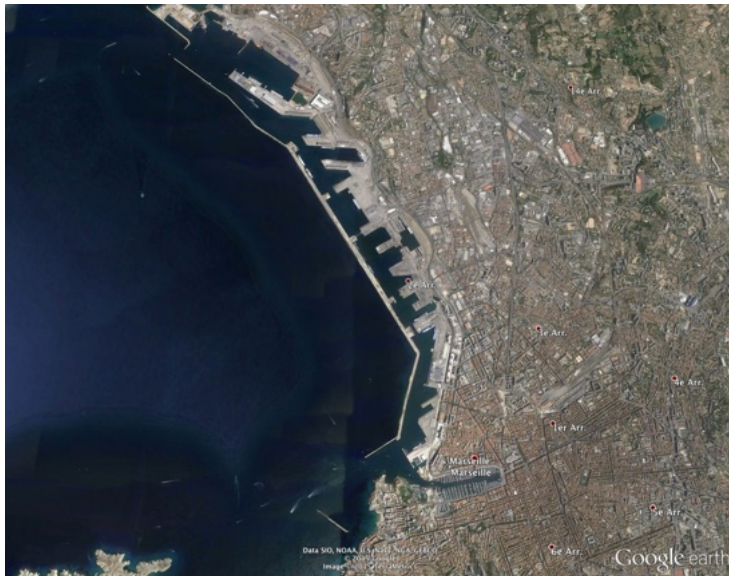
Bilbao, extension vrac solides



02/12/2025

Claude TORCHON / Yves MARCELLIN

Le port de Marseille



LE PORT DE FOS



Le port de FOS







Le port du Havre

© 2015 Google
Image © 2015 DigitalGlobe

Google earth



Le port d'Antifer

Grenoble, de berceau d'innovations et de l'hydraulique aux études portuaires

- Grenoble, **berceau d'innovations** majeures au XIX^{ème} siècle
 - Le ciment artificiel par **Louis VICAT** en 1817.
 - Les gants (main de fer de Xavier JOUVIN)
 - Les boutons pression à rivet par **Albert-Pierre RAYMOND** en 1865
- Grenoble, **berceau de l'hydraulique** avec le développement de La houille blanche grâce à Aristide **BERGES** en 1882, mais aussi **Matussière et Keller**.
 - Aménagements de chutes (papier puis électricité)
 - Bouchayer- Viallet (Conduites forcées)
 - Neyrpic (Turbines)
 - Merlin-Gerin (Alternateurs - transformateurs)
 - Laboratoire Dauphinois d'Hydraulique → Modèles réduits à Beauvert (Neyrpic)
 - L'exposition universelle de Grenoble en 1925 consacrée au tourisme et à la **houille blanche**,
 - École **d'ingénieurs hydrauliciens** (INP) fondée en 1929 aujourd'hui fusionnée avec l'école d'ingénieur électriciens pour former l'école supérieure de l'énergie, l'eau et l'environnement (groupe Grenoble INP)

Des Alpes à la Mer : Des études réalisées à Grenoble

- **Barrages et centrales hydro-électriques** des Alpes et à l'étranger
- **Rivières et fleuves** (protection / évacuation des crues, canaux, irrigation, ...)
- **Estuaires** : évolution, ensablement, ... (modèle physique de l'estuaire de la Seine)
- **Côtes maritimes** (houles, courants, marée, sédimentologie, ...)
 - Etudes techniques des ouvrages en mer (stabilité des quais, conception des digues, Centrale marémotrice de la Rance, ...)
- **Modélisation physique**
 - Laboratoire Dauphinois d'Hydraulique → SOGREAH
 - Concentration de l'activité de laboratoire hydraulique au niveau français dans les années 1980 : → Prise de contrôle de SOGREAH sur son principal concurrent, le LCHF de Maison Alfort et le transfert de ses experts su Grenoble
 - Développement d'un nouveau site de laboratoire à Pont de Claix avec la participation de l'université de Grenoble : Canal à houle, bassins avec batteur à houle, Tétrapode / Acropodes / Ecopode, ...
 - École de navigation de **port Revel** (Sogreah)
- **Modélisation numérique** (exemple de l'étude de Toulon)



**La modalisation physique au
laboratoire de Grenoble**

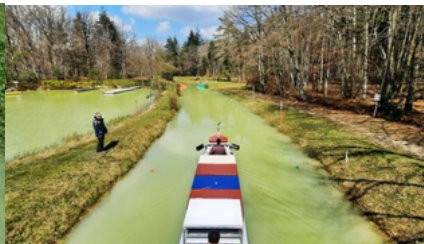


Le site de Port Revel









02/12/2025

Claude TORCHON / Yves MARCELLIN

40

Ce qui a motivé l'évolution récente des ports

- L'explosion des trafics (>10 milliards de tonnes)
- **L'évolution des navires**
 - Augmentation régulière de la taille et tirant d'eau
 - Vrac liquides et solides
 - Navires Porte Conteneurs
 - Passagers
 - Vitesse et lignes régulières
- **des navires** très chers en investissement et exploitation **qui conditionnent le dimensionnement des ports** - **coût d'un navire = coût de 3 à 10 quais**
- **La révolution du conteneur**
 - La spécialisation des conditionnements et des navires
 - L'organisation du transport maritimes (transbordements / inter-lining / Transhipement / tour du monde ...)
 - La baisse du coût / t. du transport maritime
- **L'évolution des modes de manutention**
 - Manutention navires-quai
 - Manutention des parcs

La révolution du conteneur



Depuis les années 1970, les porte-conteneurs ont connu une croissance spectaculaire

1970	~1 000 EVP	Hakone Maru (NYK Line)
1990	~4 000 EVP	Regina Maersk
2010	~13 000 EVP	CMA CGM Marco Polo
2020	>24 000 EVP	Ever Alot, MSC Irina

Ces navires dépassent les dimensions du canal de Panama et nécessitent des ports adaptés.

L'impact de la révolution du conteneur sur le commerce mondial

- **Réduction des coûts** : Les économies d'échelle permettent de transporter plus de marchandises à moindre coût.
- **Mondialisation** : Le porte-conteneurs devient un pilier du commerce international, facilitant les échanges entre l'Asie, l'Europe et l'Amérique du Nord.
- **Concentration du secteur** : En 2023, 84 % du marché mondial est contrôlé par 9 compagnies maritimes, dont CMA CGM, Maersk, MSC et COSCO.

Le transport maritime par conteneurs connaît un rythme de croissance de 7 à 8 % par an, Le volume transporté en 2024 atteint **183 millions d'EVP**

La conteneurisation a révolutionné le transport maritime et les ports, en imposant de nouvelles normes techniques, logistiques et économiques. Elle a permis l'essor du commerce mondial tout en redéfinissant les rôles des ports dans les chaînes de valeur.

Un navire porte-conteneurs (400 m de long, 60 m de large, 20 000 EVP)



QUANTUM OF THE SEA L=348m



Portique



Chariot-cavalier



02/12/2025

Claude

Aperçu sur les techniques complexe d'élaboration d'un plan directeur portuaire

Des études pluridisciplinaires complexes

Le port, un ensemble complexe, avec des objectifs et contraintes souvent contradictoires



Le monde du transport maritime

Le monde portuaire

Le monde des chargeurs et usagers

Le monde des investisseurs

les vocations d'un port

- **Interface** entre le Monde maritime et le monde terrestre
 - Transport de masse → transport « éclaté »
- **Un site logistique**
 - → manutentions, stockage, négoce, reconditionnement, etc...
- **Un site d'échanges** (cabotage, international, transit, ...) et donc de statistiques, de perception de droits (DPN, DPM, recettes domaniales, douanes,...)
- **Un lieu souvent « stratégique »**
 - Géo-stratégique (Tanger / Algésiras)
 - Ports en sites «sensibles» : énergie / militaires, ...
 - Unique point d'entrée des échanges d'un pays
- **Un site de « privilèges »**
 - Dockers, Ports autonomes, opérateurs portuaires, ...

Les conséquences de ces évolutions sur la conception des ports aujourd'hui

- Des navires qui restent très peu à quai
→ **Moins de quais et beaucoup de terre-pleins**
- Une évolution vers une **spécialisation des ports** (Antifer, Fos, Le Verdon,...), et à l'intérieur des ports
→ création des **terminaux spécialisés** (terminaux conteneurs, rouliers, vrac liquides, vrac solides, passagers, ...)
- La recherche des **profondeurs**
« sortie en mer », mais aussi dragages et nouveaux sites (Tanger Med, Bastia, Kribi, ...)
- L'**interconnexion** avec les autres modes de transport (autoroutes, fer, fleuve)

Les côtes

Constat : Depuis le milieu du 19^e siècle les côtes se sont urbanisées. Puis depuis le milieu du 20^e siècle, les ports anciens sont devenus inadaptés.

- les littoraux sont régulièrement et depuis toujours soumis à des érosions ou des sédimentations
- Amplification due à l'évolution climatique (montée régulière du niveau des mers et phénomènes paroxysmiques)
- Urbanisation accrue
 - ➔ déstabilisation des équilibres naturels de transit sédimentaire
 - ➔ apports à la côte de sédiments par les fleuves modifiés par l'activité humaine
 - ➔ Le développement des ports « extérieurs » s'accompagne possiblement d'impacts sur la stabilité du littoral, en modifiant ou interrompant les transits naturels
 - ➔ La protection contre l'érosion de la frange littorale représente donc aujourd'hui un enjeu économique important

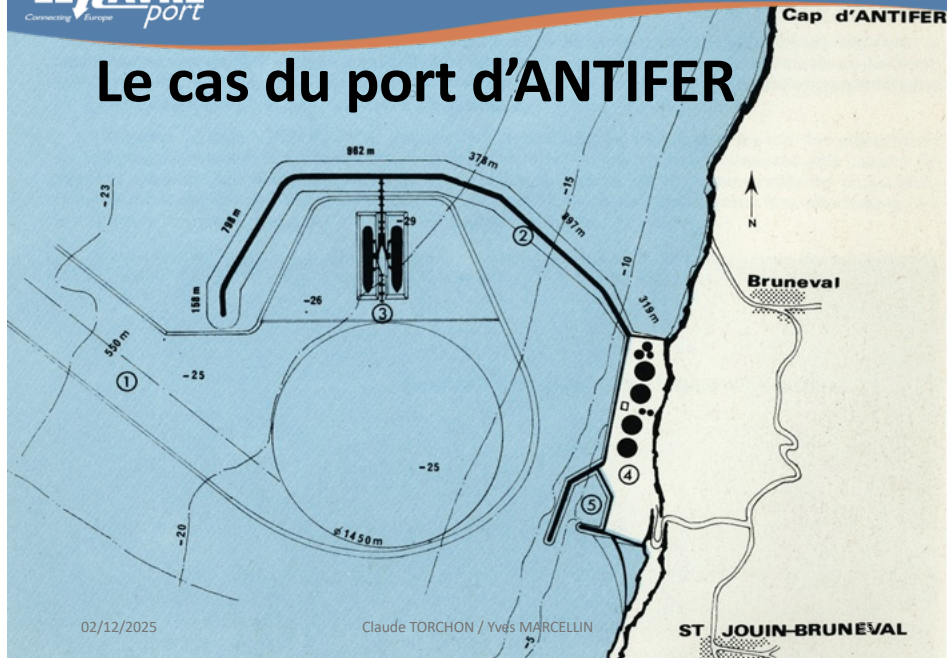
Les Ports

- **Adaptation des ports anciens**
 - Extension, approfondissement, création de terre-pleins, accès routiers, ferroviaires, fluviaux, ...
- **Création de nouveaux ports**
 - **développement des ports dans des zones plus exposées**, impactant toujours l'environnement pendant et après la construction
 - **Nécessité de concevoir et construire des ouvrages de protection** (digues) raccordées ou non à la côte
 - **conception des digues de protection** (tracé et profil) ou la compréhension des phénomènes d'érosion ou de sédimentation sont complexes
 - **mise au point sur des modèles physiques ou/et mathématiques** (souvent complémentaires)
 - ➔ Utilisation d'un Laboratoire, qui est une infrastructure lourde avec des équipements complexes.

Des études techniques de plus en plus complexes

- Des études **techniques nécessitant la prise en compte**
 - Des conditions **naturelles**
 - Nautiques, (vents, houles, courants, sédimentologie, ...)
 - Géotechniques- reconnaissances complexes en milieu marin.
 - Des conditions **opérationnelles** :
 - marées, accès nautiques, dessertes terrestres, outillage, colis lourds, passagers.
 - Contraintes de sûreté et de sécurité : zones ISPS = International Ships & Ports facilities Security code)
 - Hydrologie
 - Des **options techniques** possibles
 - Digue, quais, bassins, terre-pleins, dragages ...
 - Modèles physiques, calculs de structures.
 - Modèles numériques
- Des études **environnementales**
 - Etat des lieux
 - Études d'impact
 - Mesures correctives et compensatoires

Le cas du port d'ANTIFER











02/12/2025

Claude TORCHON / Yves MARCELLIN

59





02/12/2025

Claude TORCHON / Yves MARCELIN

61



02/12/2025

Claude TORCHON / Yves MARCELIN

Des enjeux économiques majeurs

- Des **investissements très lourds** (souvent de l'ordre du milliard d'€)
- Des impacts économiques majeurs
 - Rôle des ports sur l'aménagement du territoire et l'activité économique locale
 - 1 port tous les 200 km, ou un très grand port « international » (ex: Maroc)
 - 1 port spécialisé ou « multi-activité »
 - 1 port « complémentaire » ou « concurrent » (ex: Maroc – PLN, ...)
 - 1 port adapté au site ou adapté aux objectifs du transport maritime
 - ...
 - Coûts de la chaîne de transport de bout en bout qui peut avoir un impact majeur sur l'économie : Cas du Mozambique, de PLN, du Cameroun, de Nouadhibou, ...
- La nécessité de faire appel
 - au secteur privé (PPP)
 - ➔ **désengagement de l'état au profit de groupes internationaux** (abandon du « port outil » au profit « du port propriétaire » (= gestionnaire du domaine portuaire)
 - ➔ Contraintes imposées par les opérateurs/financeurs (monopoles, tarifs, services portuaires, dessertes, ...)
 - Aux bailleurs de fonds
 - ➔ Qui imposent leurs conditions et **contraintes** (statuts Pointe noire, Cotonou, ...)

Des études purement techniques aux études « amont »

A partir des années 1970-1980, à la demande des organismes bailleurs de fonds (banque mondiales, PNUD, AFD, BAD, ...), des études préalables (études “amont”) s’imposent

- **La modélisation numérique** avec association des 2 types de modélisation (physique et numérique)
- Des études de “**faisabilité**” économiques (TRI) et financières (capacité à “rembourser” le bailleur de fond) en complément des études purement techniques
- Puis le développement des études « amont » avec des modèles de **simulations** sur 20 à 30 ans incluant notamment la prise en compte :
 - Des aspects opérationnels / organisationnels,
 - Des besoins (Navires, marchandises, logistiques, transports terrestres, ...)
 - Des aspects logistiques → évacuation, stockage, sécurité (ISPS), informatisation, guichet unique, ...
 - des aspects environnementaux → mesures compensatoires
 - Des aspects institutionnels → statut juridique, mode de gestion, répartition public/privé, contrôle des tarifs ...
 - De l’intégration ville-port
 - Des options possibles de développement (scénarii)

→ scénarii → Choix → analyses multicritères → intervention « politique » à haut niveau

➔ **nécessité d’engager une véritable planification portuaire**

Des études « amont » de plus en plus lourdes et complexes

- Des études **économiques de plus en plus « larges »**
 - Le contexte, l'état des lieux, l'identification des « anomalies » ou tendances lourdes
 - L'identification des capacités actuelles et potentielles : La capacité "potentielle" des ports versus extension → **scénarii**
 - les prévisions de trafics à court, moyen et long terme, ... → **scénarii**
 - L'identification des évolutions du transport maritimes : études shipping, mais aussi stratégie géopolitique des grands opérateurs (ex de l'Afrique) → **scénarii**
 - L'identification de la SR et de multiples scénarii spatiaux répondant aux besoins des trafics et navires (types de quais, profondeurs, allongement des digues vs dragages, ...)
- Des études **financières** de plus en plus « fines », avec des exigences propres à chacun des bailleurs de fonds et du secteur privé impliqué → **scénarii**
- Des études **institutionnelles et juridiques complexes** → **scénarii**
- Des études **tarifaires** (concessions, DPN, DPM, tarifs domaniaux, ...) → **scénarii**
- **Le choix d'un scénario composé de multiples scénarii** → **analyse multicritère**
- Des **procédures administratives** de plus en plus lourdes, complexes, longues et coûteuses impliquant le public
 - **Débat public**,
 - enquête publique
 - Procédures de dérogation (environnement, ...)
 - Procédures d'autorisation
 - ...

Démarche globale et itérative avant le volet « mise en œuvre »



Des équipes pluridisciplinaires nombreuses justifiant une concurrence « rare »

- Etudes techniques complexes, avec l'aide d'outils spécifiques (modèles « techniques » physiques et numériques)
 - → Historiquement Grenoble a su saisir l'opportunité d'une présence de moyens techniques et des compétences de niveau international pour y **concentrer et développer l'aspect maritime de l'hydraulique.**
- Des études « shipping »
- Des études « opérationnelles »
- Des études économiques et financières complexes (modélisation opérationnelle, économique, tarifaire, financière, ...)
- Des études institutionnelles et juridiques
- Des études environnementales
 - De nombreux experts de disciplines différentes
 - Exemples des études PLN, Bastia, Kribi, Pointe Noire, ... = au minimum des équipes > 20 experts de disciplines différentes
 - **Peu de concurrences nationales et internationales capables de rassembler de tels outils et de telles équipes,**

Pour illustrer : Retour sur le projet portuaire de KRIBI

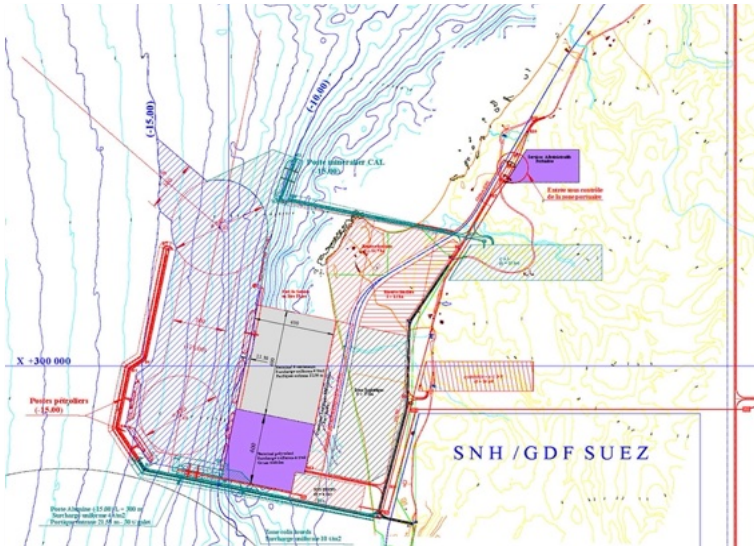


KRIBI CAMEROUN

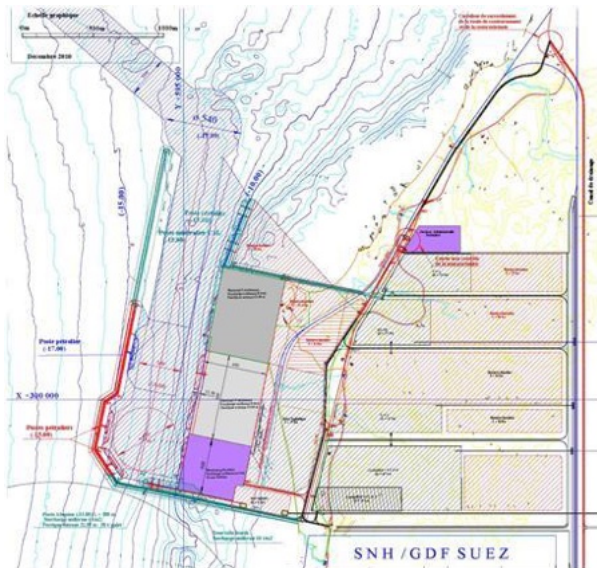
port en eau profonde

- Démarrage de l'étude en 2007
- Des études **préliminaires** conduisant au choix d'une zone de reconnaissances en 2008
- Une étude **d'AMO** (équipe de 23 experts internationaux)
- **Choix d'un site fin 2009**
- Des reconnaissances lourdes lancées en 2010-2011
- Démarrage de l'avant projet (2011-2012) avec pour objectif la justification économique et financière dans le but d'obtenir un financement public et de proposer une concession à des opérateurs privé

Projet de KRIBI (phase 1)



Projet phase 2

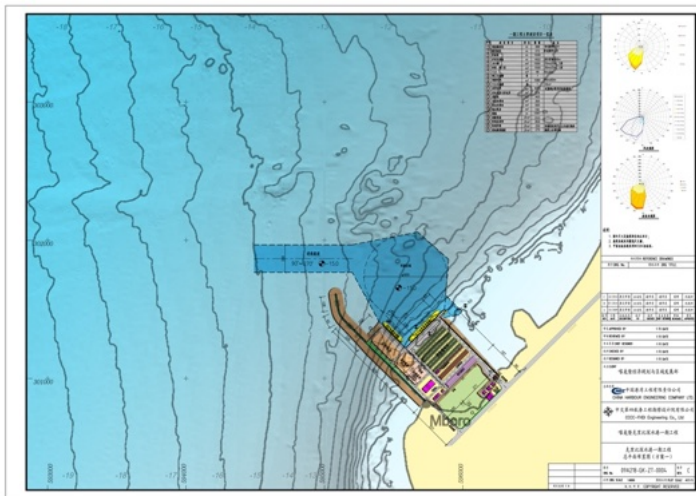


Le projet réalisé à Kribi

- Parallèlement lobbying chinois avec proposition **sans réelle étude** (basé sur une ancienne étude de plan directeur) d'un projet inadapté mais avec
 - un prêt immédiat avec différé important
 - La promesse d'une réalisation « immédiate » sur un site voisin qui avait été éliminé car défavorable du point de vue géotechnique et capacité de développement
 - Des arguments imparables pour faire pencher le choix (pas besoin d'analyse multicritère !).
- En réalité, un projet
 - **plus cher**, qui a été techniquement fragilisé du fait de la mauvaise prise en compte des contraintes géotechnique,
 - **Affaissement 2 années de suite de la digue**
 - **Port sensiblement plus petit**, mais aussi cher
 - qui n'a pas respecté le calendrier promis (*il a mis de longues années à devenir opérationnel*),
 - Pas adapté aux besoins
 - → il n'a attiré que peu de candidats pour sa concession
 - → il a nécessité dès sa mise en concession une extension par le concessionnaire retenu

→ **Réalisation d'un projet sans relation avec les besoins pour un coût final supérieur. Chantier livré en 2015 (au lieu de 2012 comme promis), avec affaissement de la digue 2 années de suite,**

Port Chinois phase 1



Projet Chinois phase 1

PORT GÉNÉRAL PHASE I (EN CONSTRUCTION)

Un terminal à conteneurs pour des navires-projet de 50000 DWT (350 ml de quai) à -16

Un terminal polyvalent de 294 ml fondé à -15,5

61m de transition (pour remorqueurs et navires Ro-Ro)

2

Une Digue de protection de 1355 m
650m chenal d'accès de 200m de large avec un cercle d'évitage de 600m de diamètre dragué à -15.0m.

bâtiments à usage multiple sur environ 9600 m2

4

Des Equipements de chargement et de déchargement (portiques et Grues)

2 remorqueurs de 4,200 CV



Projet Chinois phase finale



LES PORTS DU FUTUR

Un port, différents intérêts et usages

