

Remplacer autant que possible les carburants par de l'électricité verte

Rapport Général du Groupe de Travail dédié

Auteur : Hugues Berthet de Schneider Electric

26 Janvier 2022

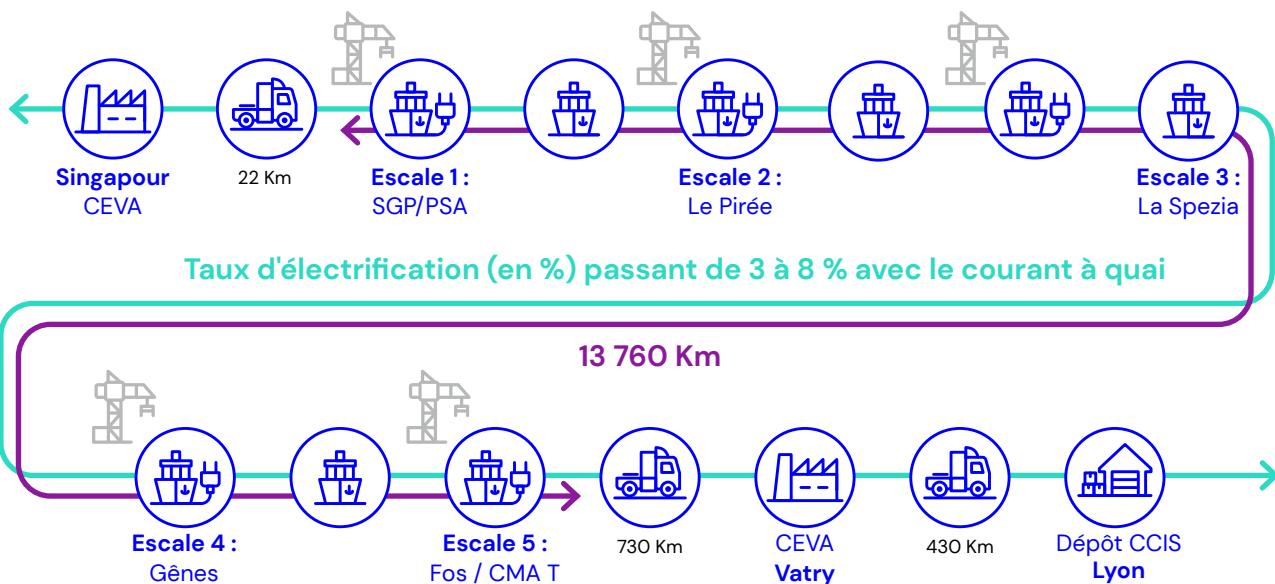


NEW ENERGIES

The energies coalition for transport & logistics

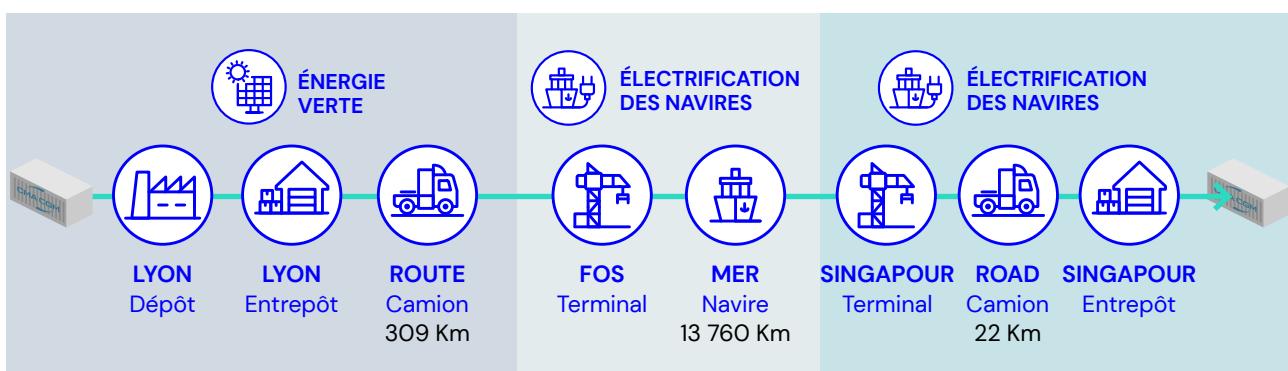
Sujet :

L'objectif de cette Coalition pour le transport est de souligner les opportunités de réduire autant que possible l'empreinte carbone d'un itinéraire de transport mondial, depuis un entrepôt basé à Singapour jusqu'au dépôt CCIS de Lyon, en passant par le terminal de Fos-sur-Mer en France.



La première tâche essentielle à réaliser consiste à recenser de manière exhaustive toutes les énergies utilisées dans le cadre de cette liaison. Pour simplifier les choses, toutes les énergies sont converties en équivalent kWh. Ainsi, quelles que soient les énergies, il est possible de les comparer en utilisant la même unité de valeur, le kWh. Nous prenons ici en compte toutes les énergies utilisées pour un conteneur EVP transporté sur cette liaison.

Bilan énergétique pour un conteneur reefer EVP standard



Tout d'abord, il est nécessaire de déterminer et de prouver dans un premier temps le potentiel de l'électrification d'un terminal à conteneurs, puis dans un second temps celui de l'électrification verte des dépôts et entrepôts.

- Consommation énergétique totale ?
- % d'électrification actuelle ?
- % d'électrification potentielle ?

La première tâche consistait à définir l'énergie totale utilisée pour transporter un conteneur EVP sur la **liaison Ouest/Est** :

Lyon / Singapour

| | Énergie en kWh Conteneur dry | Énergie en kWh Conteneur reefer |
|---|---------------------------------|------------------------------------|
| Dépôt CCIS de Lyon | 8 | 11 |
| Centre de distribution international de Schneider à Lyon | 145 | 145 |
| Camion de Lyon à Marseille | 614 | 725 |
| Terminal de transit EuroFos à Fos-sur-Mer | 5 | 216 |
| Déchargement au terminal de Fos-sur-Mer (énergie du navire) | 50 | 50 |
| Fos-sur-Mer (temps d'attente et de manœuvre) | 75 | 107 |
| Temps en mer | 3 730 | 5 343 |
| 3 temps d'attente et de manœuvre | 224 | 321 |
| 3 escales sur l'itinéraire maritime étudié | 149 | 149 |
| Singapour (temps d'attente et de manœuvre) | 75 | 107 |
| Déchargement au terminal de Singapour (énergie du navire) | 50 | 50 |
| Terminal de transit de Singapour | 5 | 216 |
| Camion à Singapour | 44 | 52 |
| Centre logistique à Singapour | 184 | 184 |
| Énergie totale pour transporter un conteneur EVP | 5 356 | 7 673 |
| Énergie déjà électrifiée | | |
| Énergie pouvant être électrifiée | | |
| Énergie provenant du diesel consommé par les camions et navires, d'après les études du groupe de travail A4 | | |
| Le navire de référence peut transporter 11 400 conteneurs EVP et son taux de chargement est de 57%. | | |

Le tableau suivant présente les résultats de cette première analyse afin de répondre à notre première question :

| Lyon / Singapour (Conteneur dry) | Part d'énergie (en %) | Taux d'électrification (en %) | Taux d'électrification (en %) en cas de courant à quai |
|-------------------------------------|-----------------------|----------------------------------|---|
| Warehouse | 6% | 3,32% | - |
| Truck | 12% | - | - |
| Multimodal Port | 0,2% | 0,06% | - |
| Ship in call | 4,63% | - | 4,63% |
| Ship at sea | 77% | - | - |
| TOTAL | 100% | 3,38% | 8,01% |

La même analyse des énergies a été effectuée pour la liaison Est/ouest, car la quantité de conteneurs transportés est différente :

Singapour / Lyon

| | Énergie en kWh Conteneur dry | Énergie en kWh Conteneur reefer |
|---|---------------------------------|------------------------------------|
| Centre logistique à Singapour | 184 | 184 |
| Camion à Singapour | 44 | 67 |
| Terminal de transit de Singapour | 5 | 216 |
| Déchargement au terminal de Singapour (énergie du navire) | 50 | 50 |
| Singapour (temps d'attente et de manœuvre) | 41 | 84 |
| Temps en mer | 2 058 | 4 209 |
| 3 temps d'attente et de manœuvre | 124 | 253 |
| 3 escales sur l'itinéraire maritime étudié | 149 | 149 |
| Fos-sur-Mer (temps d'attente et de manœuvre) | 41 | 84 |
| Déchargement au terminal de Fos-sur-Mer (énergie du navire) | 50 | 50 |
| Terminal de transit à Fos-sur-Mer | 5 | 216 |
| Camion jusqu'à Lyon | 614 | 725 |
| Centre de distribution international de Schneider à Lyon | 145 | 145 |
| Dépôt CCIS de Lyon | 8 | 8 |
| Énergie totale pour transporter un conteneur EVP | 3 517 | 6 439 |



Énergie déjà électrifiée



Énergie pouvant être électrifiée



Énergie provenant du diesel consommé par les camions et navires, d'après les études du groupe de travail A4

Le navire de référence peut transporter 11 400 conteneurs EVP et son taux de chargement est de 96%.

| Singapour / Lyon (conteneur dry) | Part d'énergie (en %) | Taux d'électrification (en %) | Taux d'électrification (en %) en cas de courant à quai |
|-------------------------------------|-----------------------|----------------------------------|---|
| Entrepôt | 9% | 5,06% | - |
| Camion | 19% | - | - |
| Port multimodal | 0,3% | 0,09% | - |
| Navire en escale | 7% | - | 7% |
| Navire en mer | 65% | - | - |
| TOTAL | 100% | 5,15% | 12% |

Énergie pour transporter un conteneur EVP
L'électrification totale pourrait atteindre au maximum 16%
Dans notre cas 12 % en raison de l'utilisation de gaz en entrepôt

Cette première étape montre que le transport par camion et navire représente entre 84 et 89 % de l'énergie totale utilisée pour transporter un conteneur EVP entre Singapour et Lyon en France. D'autres groupes de travail de cette coalition pour le transport s'intéressent à la conversion au vert du transport par camion et navire.

Grâce à cette première étude, nous pouvons répondre aux premières questions concernant les énergies totales utilisées pour transporter un conteneur EVP dry entre Singapour et Lyon :

- Consommation énergétique totale ? **3517 kWh**
- % d'électrification actuelle ? **5%**
- % d'électrification potentielle ? **7% avec les navires en escale. Par conséquent, l'électrification totale peut atteindre 12 % dans ce cas spécifique.**
- **Énergie pour transporter 1 conteneur EVP – L'électrification pourrait atteindre au maximum 16%**
(9 % pour les entrepôts et 7 % pour les navires en escale, signalé en jaune dans le tableau ci-dessus) ; dans notre cas 12 % (5 % pour les entrepôts et 7 % pour les navires en escale) en raison de l'utilisation de gaz (4 % de l'énergie totale) en entrepôt.

Suite à cette première analyse concernant les énergies sur un itinéraire international, le groupe de travail A4 a étudié plus spécifiquement deux éléments pour lesquels l'électrification et l'électrification verte sont possibles.

- **Électrification verte des entrepôts et des dépôts**
- **Analyse des énergies utilisées au terminal à conteneurs et des opportunités de raccordement électrique des navires en escale**

Depuis l'accord de Paris suite à la COP21 à Paris, la pollution générée par les navires en escale doit être comptabilisée sur le territoire concerné.

Électrification verte des entrepôts et des dépôts

Analyses des énergies utilisées dans le centre de distribution international de Schneider Electric.

Au cours de la première phase, nous avons analysé le centre de distribution international (International Distribution Center, IDC) de Schneider Electric à Lyon.

Année de réf. 2019 – Centre de distribution internationale (IDC) de Schneider Electric situé en Europe

| Énergie et CO ₂ par site | kWh d'élec. | kWh de gaz | kWh d'énergie renouvelable | kWh totaux | Sc. 1 et 2 Sites d'émissions de CO ₂ (tonnes métriques) | Émissions de CO ₂ rapportées au mix énergétique français en kg |
|---|------------------|------------------|----------------------------|-------------------|--|---|
| Eur1 (Frce) Evreux | 2 010 534 | 463 757 | - | 2 474 291 | 212 | 135 748 |
| Eur2 (Frce) Lyon (St Quentin Fallavier) | 2 329 484 | 2 007 758 | - | 4 337 242 | 547 | 224 334 |
| Eur3 (Espagne) | - | - | 3 614 404 | 3 614 404 | ? | - |
| | 4 340 018 | 2 471 515 | 3 614 404 | 10 425 937 | | |
| | 42% | 24% | 35% | - | | |

Principaux centres européens de distribution internationale

| | 89,4% | 2,6% | 8% | 0% | 100% |
|---------------------|-------|-------------|---------------|------|-------|
| Tonnes transportées | Route | Fret aérien | Fret maritime | Rail | TOTAL |

| kWh par conteneur EVP et g de CO ₂ par tonne de marchandises | Nombre de conteneurs EVP | Utilisation moyenne du volume des conteneurs EVP (%) | Tonnage moyen par conteneur EVP | kWh par conteneur EVP | Sc. 1 et 2 kg de CO ₂ par conteneur EVP | g de CO ₂ par tonne de marchandises France (nucléaire) Espagne (énergies renouvelables) |
|---|--------------------------|--|---------------------------------|-----------------------|--|--|
| Eur1 Evreux | 1 078 | 61% | 6 162 | ● 184 | 16 | 0,0026 |
| Eur2 Lyon (St Quentin Fallavier) | 2 392 | 58% | 3 721 | ● 145 | 18 | 0,0049 |
| Eur3 | 2 075 | 58% | 4 555 | 139 | ? | ? |

Celui-ci recourt à différents moyens de transport : le transport routier (par camions) à hauteur de 89,4 %, le transport aérien à hauteur de 2,6 %, et enfin le transport maritime par conteneurs, à hauteur de 8 %. L'énergie utilisée pour transférer un conteneur EVP dans l'IDC peut correspondre à différentes valeurs.

L'IDC de Lyon s'efforce de réduire sa consommation d'énergie. Par conséquent, ● le transfert d'un conteneur EVP au sein de l'IDC de Lyon nécessite 145 kWh. Il s'agit de la valeur utilisée pour l'IDC de Lyon. Cependant, en l'absence d'autres données provenant de centres logistiques ailleurs dans le monde, une autre valeur a été utilisée pour les centres qui ne font pas cet effort. Ainsi, ● l'énergie consommée pour le transfert d'un conteneur EVP dans un centre logistique standard peut être estimée à 184 kWh.

Étude de l'électrification verte au sein du dépôt CCIS* à Lyon. Pour un entrepôt plus écologique

Objectifs :

1. Évaluer la possibilité d'intégrer des ressources renouvelables dans l'entrepôt
2. Obtenir les chiffres clés pour un tel projet

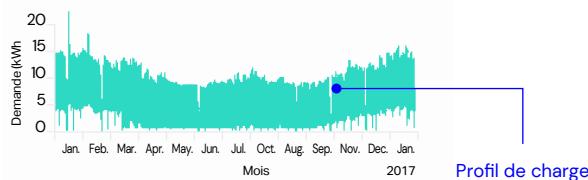
Données d'entrée :

- Entrepôt situé dans la région de Lyon (France)
- Consommation = 42 MWh/an
- Tarif = EDF 36 kVA – tarif unique (0,0965 €/kWh)

Phase de modélisation sans stockage sur batterie

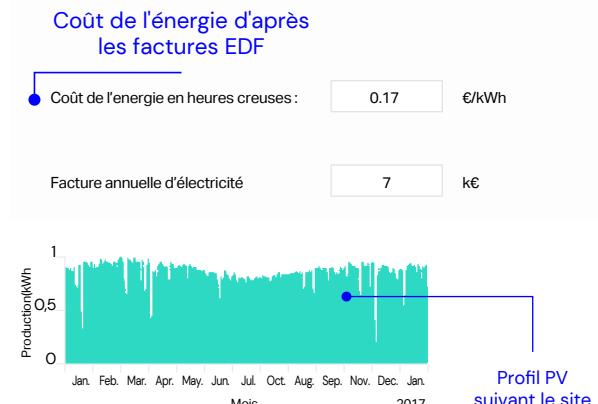
Localisation pour le profil énergétique

| | |
|--|---|
| Pays*: | France (FRA) |
| Lieu et type du site | |
| Ville*: | Lyon-Bron |
| Profil Type | Entrepôt |
| Chauffage | <input checked="" type="radio"/> Électrique <input type="radio"/> Autre |
| Profil Personnalisé | Editeur de profil |
| Consommation d'énergie annuelle (MWh): | 42.00 |



Coût de l'énergie

| | |
|-----------------|-----------------------------------|
| Tarif typique | Generic Flat Tariff (1 season...) |
| Créer son tarif | |



* CCIS = CMA CGM Services intérieurs.

Phase de modélisation avec stockage sur batterie (BESS)

Configuration de la microgrid

| | | |
|--|--|---------------|
| Toujours connecté | <input type="checkbox"/> | Mode îlotable |
| <input checked="" type="checkbox"/> Batterie | <input type="checkbox"/> Générateur électrique | |

Calculs pour les systèmes PV et avec batterie

Production photovoltaïque

| | |
|----------------------------------|------|
| Puissance crête AC (kwcrête) | 40 |
| PV existant (kwcrête) | 0 |
| Coût d'installation total (€/kW) | 1500 |
| Crédit d'impôt (%) | 0 |
| Subvention fixe (€/kW) | 0 |

Données PV

Batterie

| | |
|-----------------------------------|-----------------------|
| Type | Generic Li-ion 1 hour |
| Coût d'installation total (€/kWh) | 750 |
| Crédit d'impôt (%) | 0 |
| Subvention fixe (€/kWh) | 0 |

Données batterie (BESS)

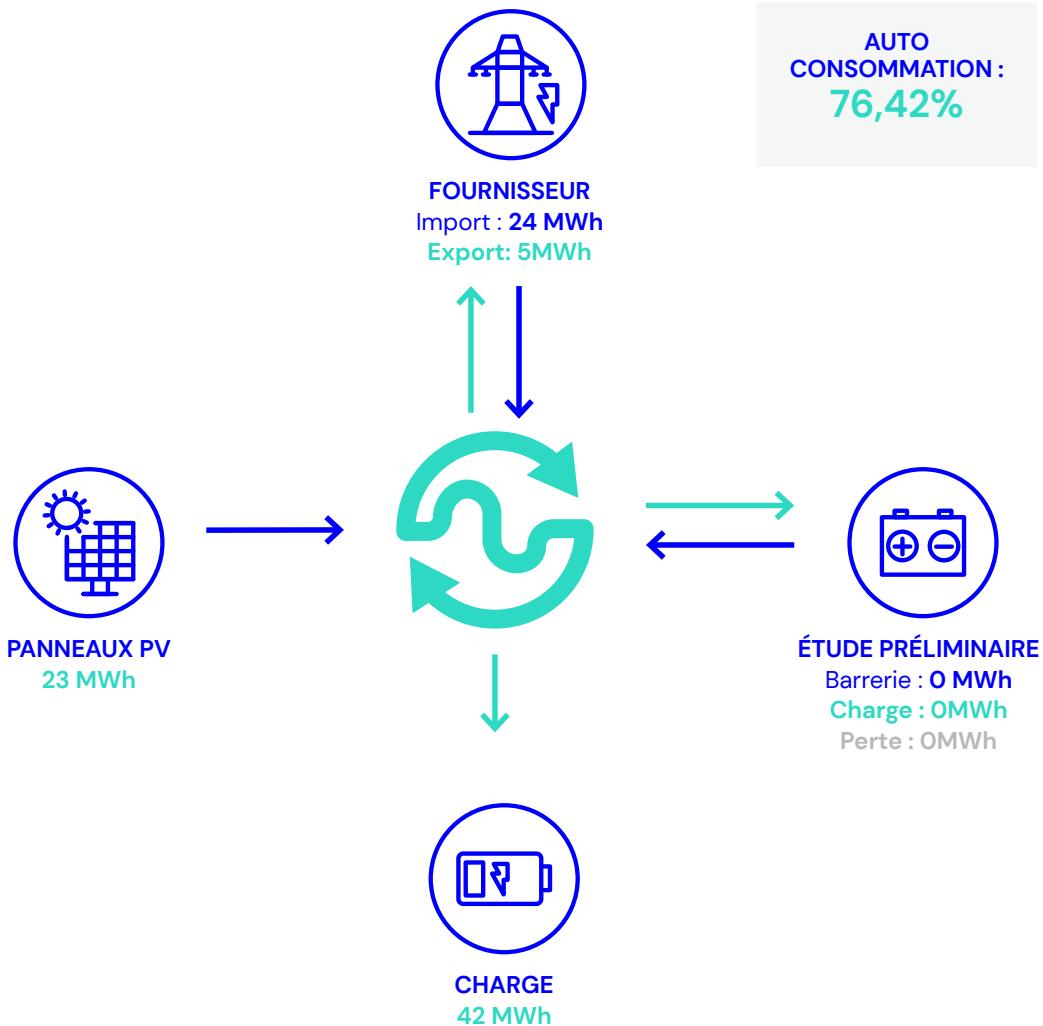
Analyse des énergies utilisées au dépôt CCIS de Lyon et de la possibilité d'électrification verte

| Simulations de CCIS à Lyon | MWh d'élec. consommés | Coûts annuels auprès d'Enedis en € | % de différence avec la valeur de référence | Énergie PV produite en MWh | Énergie importée par Enedis en MWh | Énergie exportée à Enedis par CCIS en MWh | Charge de la batterie en MWh | Décharge de la batterie en MWh | Pertes de la batterie en MWh | CAPEX | ROI (années) |
|--|-----------------------|------------------------------------|---|----------------------------|------------------------------------|---|------------------------------|--------------------------------|------------------------------|----------|--------------|
| Référence | 42 | 7 500 € | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| PV 40 kWp = 500 m ² | 42 | 3 100 € | - 56,40 % | 84 | 18 | 60 | | | | 60 000 € | 16,5 |
| PV 40 kWp + système de stockage sur batterie (BESS) 24 kWh | 42 | 1977 € | - 72,10 % | 84 | 12 | 53 | 7 | 7 | 1 | 78 000 € | 19,5 |
| PV 22 kWp = 275 m ² | 42 | 3 456 € | - 51,40 % | 46 | 20 | 24 | - | - | - | 33 000 € | 9,5 |
| PV 11 kWp = 138 m ² | 42 | 4 147 € | - 41,80 % | 23 | 24 | 5 | - | - | - | 16 500 € | 5,7 |

Le dépôt CCIS de Lyon présente un taux d'électrification de 2 %, 98 % de l'énergie provenant de moteurs diesel. La consommation d'électricité annuelle s'élève à 42 000 kWh. Le mix énergétique français correspond à 52 g de CO₂/kWh. Le dépôt génère 2 184 kg d'émissions de CO₂ par an. Afin de réduire ces émissions, nous avons formulé la proposition suivante :

- Équiper le dépôt de panneaux solaires afin de produire l'électricité consommée dans la mesure du possible.
- La surface disponible pour la mise en place de panneaux solaires est de 500 m², sur le parking.
- 4 simulations différentes ont été effectuées afin d'optimiser autant que possible l'auto-consommation et d'éviter d'avoir à réinjecter la surproduction dans le réseau. À ce stade, le dépôt CCIS ne souhaite pas mettre en place de système de stockage sur batterie.
- Voici un aperçu du système complet et de la simulation

Flux Energetiques en Mode Connecté



- Si le KPI pris en compte est l'utilisation d'énergies plus vertes,

il est possible d'installer des panneaux solaires pour produire jusqu'à 40 kWp, sous réserve que le fournisseur accepte que nous réinjections de l'énergie dans le réseau
Alimentation autour de 84 MWh et exportation d'environ 60 MWh

ROI estimé sur 16 ans

Pas de problème technique ; vérifier avec le gestionnaire de réseau s'il faut un compteur spécifique et s'il est possible d'exporter l'énergie, et vérifier si les tableaux électriques le permettent

- Si le KPI pris en compte est économique,

il est possible d'installer des panneaux solaires pour produire jusqu'à 11 kW

Alimentation autour de 23 MWh et exportation d'environ 5 MWh

ROI estimé sur 6 ans

Pas de problème technique ; vérifier avec le gestionnaire de réseau s'il faut un compteur spécifique et s'il est possible d'exporter l'énergie, et vérifier si les tableaux électriques le permettent.

Une autre opportunité pour l'entrepôt CEVA de Vatry (France) a également fait l'objet d'une simulation

| (Données de Ceva) | MWh d'électricité consommés/an | m² | kWp | MWh produits à Lyon | MWh produits à Vatry | MWh importés | MWh exportés | Coût annuel | CAPEX |
|---|--------------------------------|--------|------|---------------------|----------------------|--------------|--------------|-------------|-------------|
| Référence 1 (500 m²) Offre de Schneider Electric | 42 | 500 | 40 | 84 | - | 18 | 60 | 3 100 € | 60 000 € |
| Référence 1 (275 m²) Offre de Schneider Electric | 42 | 275 | 22 | 46 | - | 20 | 24 | 3 456 € | 33 000 € |
| Référence 1 (138 m²) Offre de Schneider Electric | 42 | 138 | 11 | 23 | - | 24 | 5 | 4 147 € | 16 500 € |
| Vatry 2020 | 1200 | | | | | | | 128 476 € | |
| Panneaux solaires pour générer l'énergie consommée | 1200 | 8 000 | 640 | 1344 | 1236 | * | * | ** | 960 000 € |
| Panneaux solaires avec la surface disponible | 1200 | 15 000 | 1200 | 2 509 | 2 308 | * | * | ** | 1 800 000 € |

Autre simulation effectuée pour l'entrepôt CEVA de Singapour

| | MWh d'électricité consommés/an | m² | kWp | MWh produits | MWh produits à Singapour | MWh importés | MWh exportés | Coût annuel | CAPEX |
|---|--------------------------------|--------|-----|--------------|--------------------------|--------------|--------------|-------------|-------------|
| Référence 1 (500 m²) Offre de Schneider Electric | 42 | 500 | 40 | 84 | - | 18 | 60 | 3 100 € | 60 000 € |
| Référence 1 (275 m²) Offre de Schneider Electric | 42 | 275 | 22 | 46 | - | 20 | 24 | 3 456 € | 33 000 € |
| Référence 1 (138 m²) Offre de Schneider Electric | 42 | 138 | 11 | 23 | - | 24 | 5 | 4 147 € | 16 500 € |
| CLC 2020 | 2 790 | | | | | | | 372 440 € | |
| Surface disponible pour des panneaux solaires | 2 790 | 12 000 | 960 | 2 016 | 2 137 | * | * | ** | 1 440 000 € |

- Coût du projet d'installation à comparer à l'offre de Schneider Electric.
- L'offre de Schneider concernait un dépôt de 500 m² à Lyon. Les coûts et la génération d'électricité de ce projet doivent être adaptés.
- Coût des batteries non pris en compte.
- Coût d'entretien non pris en compte.
- L'analyse a été effectuée avec la consommation réelle totale de 2020. Lors de la deuxième phase d'analyse, celle-ci devra être contrastée en tenant compte de la consommation maximale, afin d'être en mesure de faire face aux pics de consommation.
- Nous supposons que des frais supplémentaires pour le renforcement du toit ne sont pas nécessaires.
- Ceva n'est pas propriétaire de ces entrepôts. Nous supposons que le propriétaire acceptera la mise en œuvre du projet.
- Génération théorique d'énergie, la réalité étant susceptible d'être différente (ensoleillement, fluctuation des prix de l'énergie sur le marché, etc.)
- Le prix de l'énergie vendue, en cas de surproduction, est susceptible d'être plus élevé que le prix de l'électricité achetée.
- Inflation annuelle non prise en compte.
- L'objectif de cet exercice est de déterminer la surface nécessaire pour générer l'énergie consommée. Cela ne signifie pas que toute l'énergie consommée sera générée (consommation de nuit, etc.), sauf si la génération et le stockage sur batterie le permettent.
- Aucune mesure d'incitation gouvernementale prise en compte.

Résumé des estimations de Ceva concernant l'installation de panneaux solaires*

- First estimation using the Schneider electric offer as a baseline for the project cost.
- Estimation done with the yearly consumption and with the surface available.
- The estimation shows that with the energy generation will cover more than the 50% of the electricity consumption in Singapore and same energy consumed in Vatry with 1.500 tons of CO₂ reduction a year.

| Chiffres de Vatry 1 | |
|------------------------------------|----------------------|
| MWh/an (2020) | 1200 |
| Surface pour des panneaux solaires | 8 000 m ² |
| Coût annuel en 2020 | 128 476 € |

| Chiffres de CLC à Singapour | |
|---|-----------------------|
| MWh/an (2020) | 2 790 |
| Surface disponible pour des panneaux solaires | 12 000 m ² |
| Coût annuel en 2020 | 372 440 € |

| Estimation | |
|--------------------------------------|----------|
| kWp | 640 |
| MWh produits | 1 236 |
| Tonnes de CO ₂ économisés | 584 |
| Investissement estimé | 0,96 M € |

| Estimation | |
|--------------------------------------|----------|
| kWp | 960 |
| MWh produits | 2 137 |
| Tonnes de CO ₂ économisés | 935 |
| Investissement estimé | 1,44 M € |

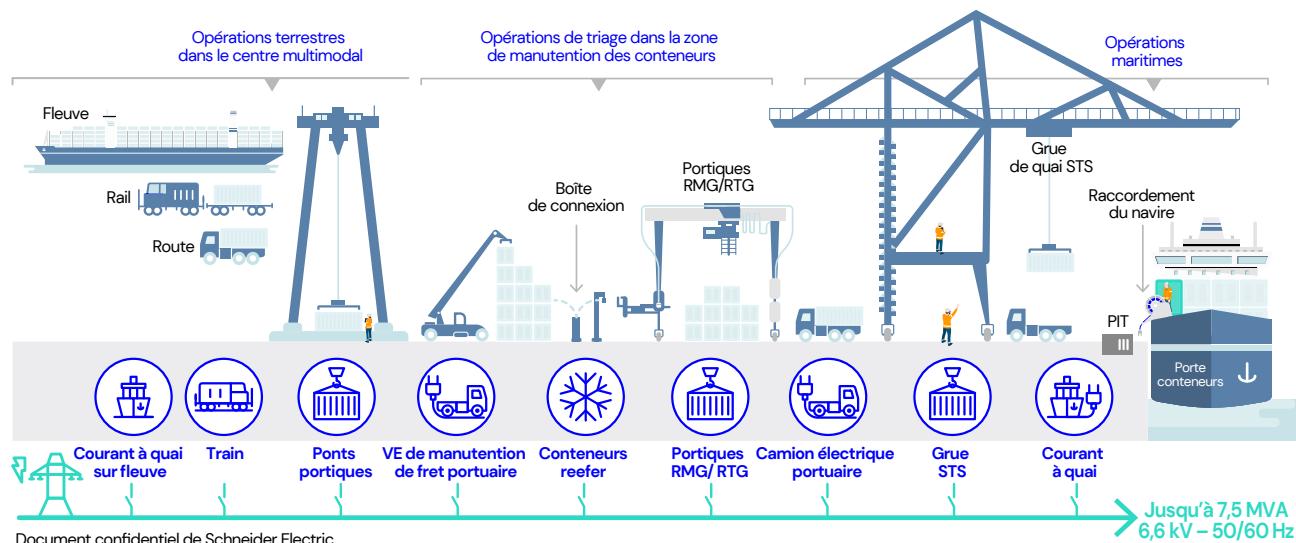
*Données de Ceva Logistics

Analyse des énergies utilisées au sein du terminal à conteneurs

Le groupe de travail A4 a analysé les deux terminaux à conteneurs utilisés sur la liaison MEX : Singapour et Fos Marseille

Un terminal à conteneurs regroupe de nombreux points de consommation, comme le montre le schéma suivant :

Terminal à conteneurs / Principaux consommateurs



Life Is On | Schneider
Electric

Tous ne sont pas encore raccordés à l'électricité. C'est pourquoi nous avons réparti les énergies selon deux catégories :

- Déjà électrifié : grues de quai (STS), éclairages, bureaux, conteneurs reefer, etc.
- Pas encore électrifié : portiques (RTG, RMG), véhicules de service au sol et surtout navires en escale

Résultat de l'étude concernant les énergies utilisées dans l'ensemble du terminal Eurofos de Fos-sur-Mer.

| Terminal EuroFos France Année de référence 2019 | Bilan énergétique en kWh | % du bilan énergétique, navires en escale inclus | Nb de conteneurs EVP | kWh/conteneur EVP | Émissions de CO ₂ en kg | % des émissions de CO ₂ | Émissions de CO ₂ d'après le mix énergétique du pays avec courant à quai et électrification complète (en kg) |
|--|--------------------------------|--|-------------------------|----------------------|---------------------------------------|--|---|
| Grues de quai et immeubles de bureaux | 2 945 000 | 5% | 773 141 | 4 | 141 360 | 0,4% | 141 360 |
| Conteneurs reefer (3 % des conteneurs) | 5 415 000 | 10% | 25 668 | 211 | 259 920 | 0,8% | 259 920 |
| Pylônes (éclairage) | 855 000 | 2% | 773 141 | 1 | 41 040 | 0,1% | 41 040 |
| Divers | 285 000 | 1% | 773 141 | 0,4 | 13 680 | 0,04% | 13 680 |
| Consommation électrique totale du terminal | 9 500 000 | 17% | 773 141 | 12 | 456 000 | 14% | 456 000 |
| Grue de ravitaillement en carburant | 7 014 010 | 13% | 773 141 | 9 | 5 866 431 | 19% | 336 672 |
| Alimentation des navires au poste à quai (1,5 MVA) au gazoil marin à très faible teneur en soufre | 38 280 000 | 69% | 773 141 | 50 | 24 690 600 | 78% | 1 837 440 |
| 1000 camions/jour dans le terminal de Fos | 792 328 | 1% | - | 2,2 | 662 694 | 2,1% | NA |
| Consommation électrique totale du terminal | 55 586 338 | 100% | 773 141 | 72 | 31 675 725 | 100% | 2 668 144 |

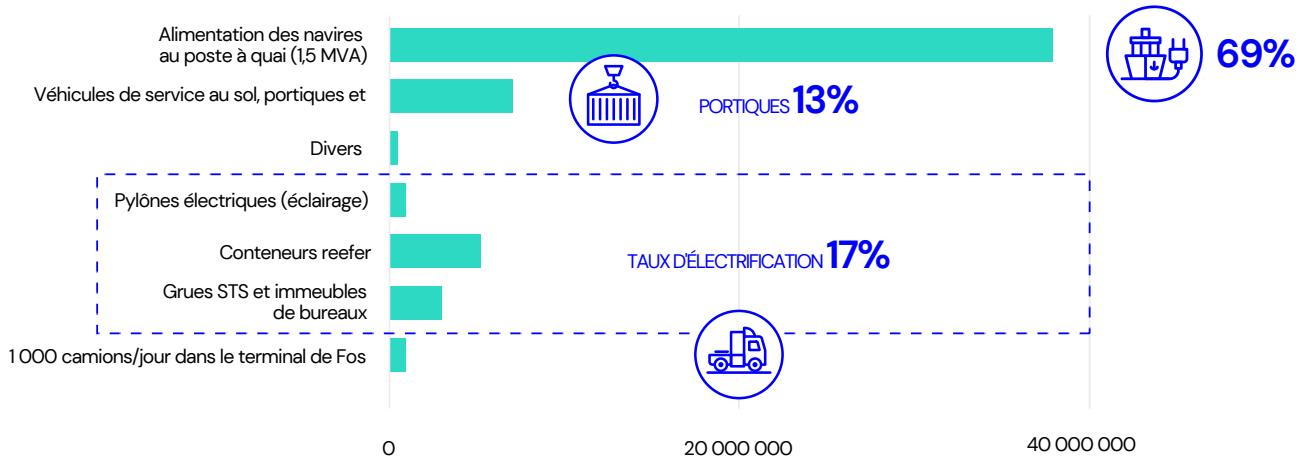
-92%

Voici les principaux résultats du bilan énergétique

- Le taux d'électrification s'élève à 17 % de l'énergie totale (grues de quai STS, éclairages, bureaux, conteneurs reefer, etc.)
- Les portiques et les véhicules de service au sol représentent 13 % de la consommation énergétique totale
- Les navires en escale consomment 69 % de l'énergie totale
- 1 000 camions par jour représentent 1 % de l'énergie totale

Le diagramme suivant illustre le bilan énergétique d'un terminal à conteneurs, ainsi que les émissions de CO₂ associées

Energie Balances Fos sur Mer



Résultats de l'étude concernant les énergies utilisées dans un terminal PSA à Singapour

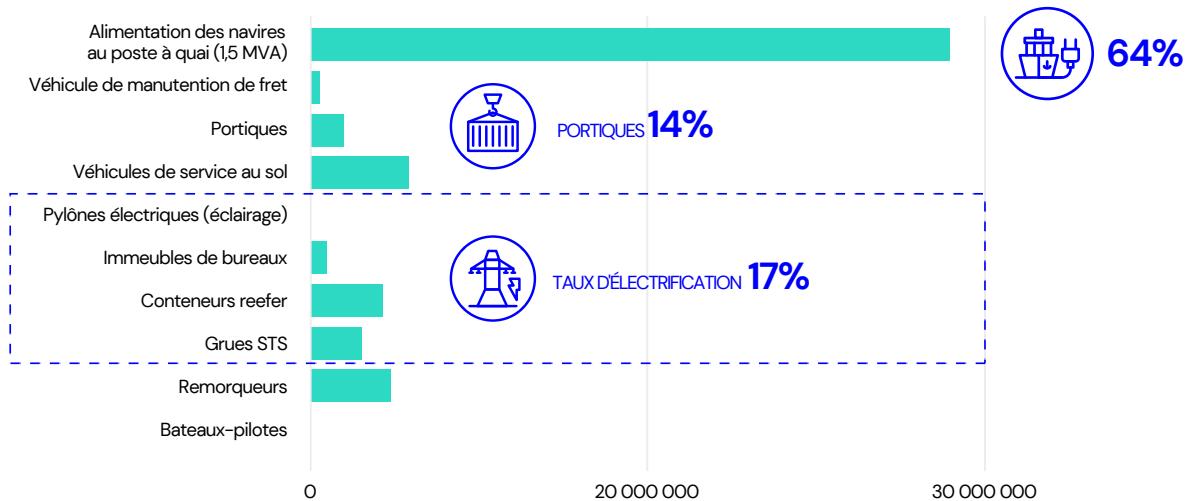
| PPT 4 – 6 | Diesel ⁽¹⁾ | Puissance équivalent diesel (kWh) | Émissions de CO ₂ du diesel (kg) | Consommation d'électricité en 2019 (kWh) | Émissions de CO ₂ du réseau électrique de Singapour (kg) | Bilan énergétique (kWh) | Bilan énergétique (%) | Émissions de CO ₂ (kg) | Nombre de conteneurs (2019) | Émissions de CO ₂ du courant à quai d'après le mix énergétique de Singapour (kg) |
|--|-----------------------|-----------------------------------|---|--|---|-------------------------|-----------------------|-----------------------------------|-----------------------------|---|
| Grues STS | - | - | - | 3 111 730 | 127 1142 | 3 111 730 | 5% | 127 1142 | 1 000 000 | - |
| Véhicules de service au sol | 1 796 320 | 5 734 392 | 4 796 174 | - | - | 5 734 392 | 10% | 4 796 174 | 1 000 000 | - |
| Portiques | 26 714 | 85 279 | 71 326 | 2 145 762 | 876 544 | 2 231 041 | 4% | 947 870 | 1 000 000 | - |
| Véhicule de manutention de fret | 92 853 | 296 415 | 247 918 | - | - | 296 415 | 0,5% | 247 918 | 156 058 | - |
| Bateaux-pilotes | 5 066 | 16 172 | 13 526 | - | - | 16 172 | 0,03% | 13 526 | 1 000 000 | - |
| Remorqueurs | 1 505 977 | 4 807 530 | 4 020 959 | - | - | 4 807 530 | 8% | 4 020 959 | 1 000 000 | - |
| Conteneurs reefer | - | - | - | 4 349 980 | 1 776 967 | 4 349 980 | 7% | 1 776 967 | 27 917 | - |
| Bureaux au terminal | - | - | - | 761 551 | 311 094 | 761 551 | 1% | 311 094 | 1 000 000 | - |
| Pylônes électriques (éclairage) | - | - | - | 98 168 | 40 102 | 98 168 | 0,2% | 40 102 | 1 000 000 | - |
| Alimentation des navires au poste à quai | - | 38 280 000 | 24 690 600 | - | - | 38 280 000 | 64% | 24 690 600 | - | 15 637 380 |
| TOTAL | 3 426 930 | 49 219 789 | 33 840 503 | 10 467 191 | 4 275 848 | 59 686 980 | 100% | 38 116 351 | 1 000 000 | -63% |

Voici les principaux résultats du bilan énergétique d'un terminal PSA à Singapour

- Le taux d'électrification s'élève à 17 % de l'énergie totale (grues de quai STS, éclairages, bureaux, conteneurs reefer, etc.)
- Les portiques et les véhicules de service au sol représentent 14 % de la consommation énergétique totale
- Les navires en escale consomment 64 % de l'énergie totale
- Les remorqueurs représentent 8 % de la consommation totale

Le diagramme suivant illustre bien le bilan énergétique d'un terminal à conteneurs, ainsi que les émissions de CO₂ associées

Bilan énergétique du terminal PSA

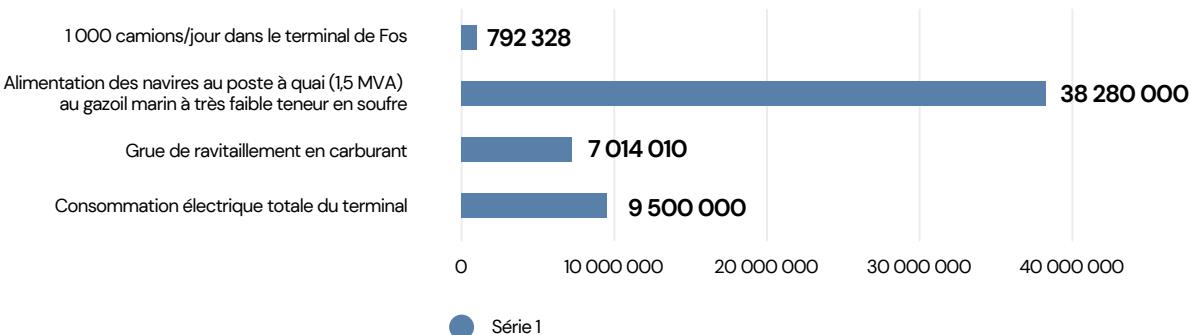


Analyse des résultats des bilans énergétiques des deux terminaux

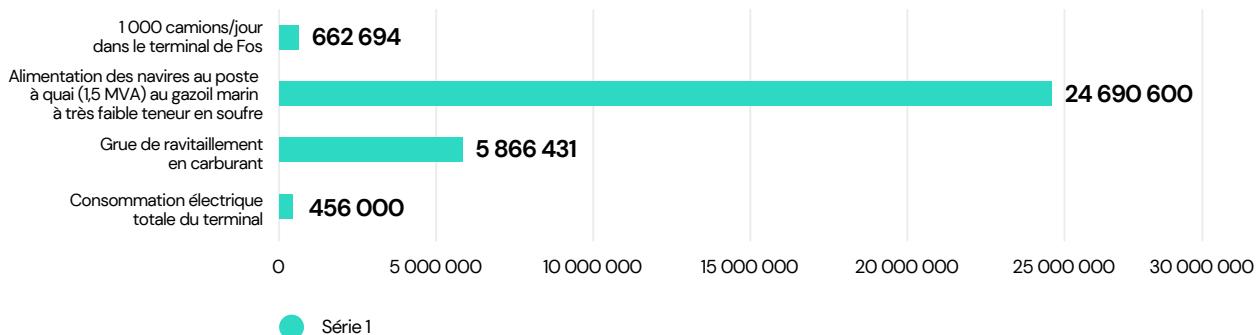
Concernant ces deux bilans énergétiques, nous pouvons remarquer certaines similitudes dans les chiffres :

- Les navires en escale peuvent représenter jusqu'à 70 % de l'énergie totale consommée
- Le taux d'électrification actuel est inférieur à 17 % de la consommation énergétique totale
- Les portiques et les véhicules de service au sol représentent 13 % de la consommation énergétique totale
- D'après cette étude, une électrification complète nécessiterait une augmentation de la capacité du réseau électrique du terminal, avec un facteur de multiplication compris entre 5 et 6. (voir les chiffres des bilans énergétiques ci-dessous).
- Grâce à cette étude, les terminaux ont désormais une vision claire de leur bilan énergétique et savent dans quels domaines faire des efforts pour atteindre l'objectif « zéro émission ».
- Une électrification complète éliminerait toute émission dans la zone portuaire. Toutefois, le mix énergétique du pays doit être pris en compte pour connaître réellement les émissions générées par la production d'électricité elle-même. En France, la production de 1 kWh génère 52 g de CO₂. D'après le tableau TIER3, les émissions de CO₂ d'un navire s'élèvent à 645 g/kWh. En France, remplacer le carburant par de l'électricité permettrait donc de réduire les émissions de CO₂ de 92 %.
- Energies et émissions de CO₂ dans le terminal EuroFos

Bilan énergétique d'EuroFos (kWh)



Bilan carbone d'EuroFos (kg)



Scénario et critères pour le terminal EuroFos : 1,5 MVA par navire / Escales de 58 h en moyenne / 440 escales en 2019 / Principales émissions des navires

| Émissions des navires | kg | Courant à quai |
|-----------------------|------------|----------------|
| CO ₂ | 24 690 600 | 0 |
| NOx | 505 296 | 0 |
| SO2 | 15 312 | 0 |
| Particules | 7 656 | 0 |

Deux projets possibles pour l'électrification complète du port :



- Le courant à quai (ou Cold Ironing) pourrait représenter la meilleure opportunité de réduire les émissions du port, afin de se conformer à la Directive européenne DAFI (Diesel Alternative Fuel Infrastructure) imposant l'électrification à quai d'ici 2030, ainsi qu'aux objectifs de l'UE visant à réduire de 55 % les émissions de CO₂ d'ici 2030 et à atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050.

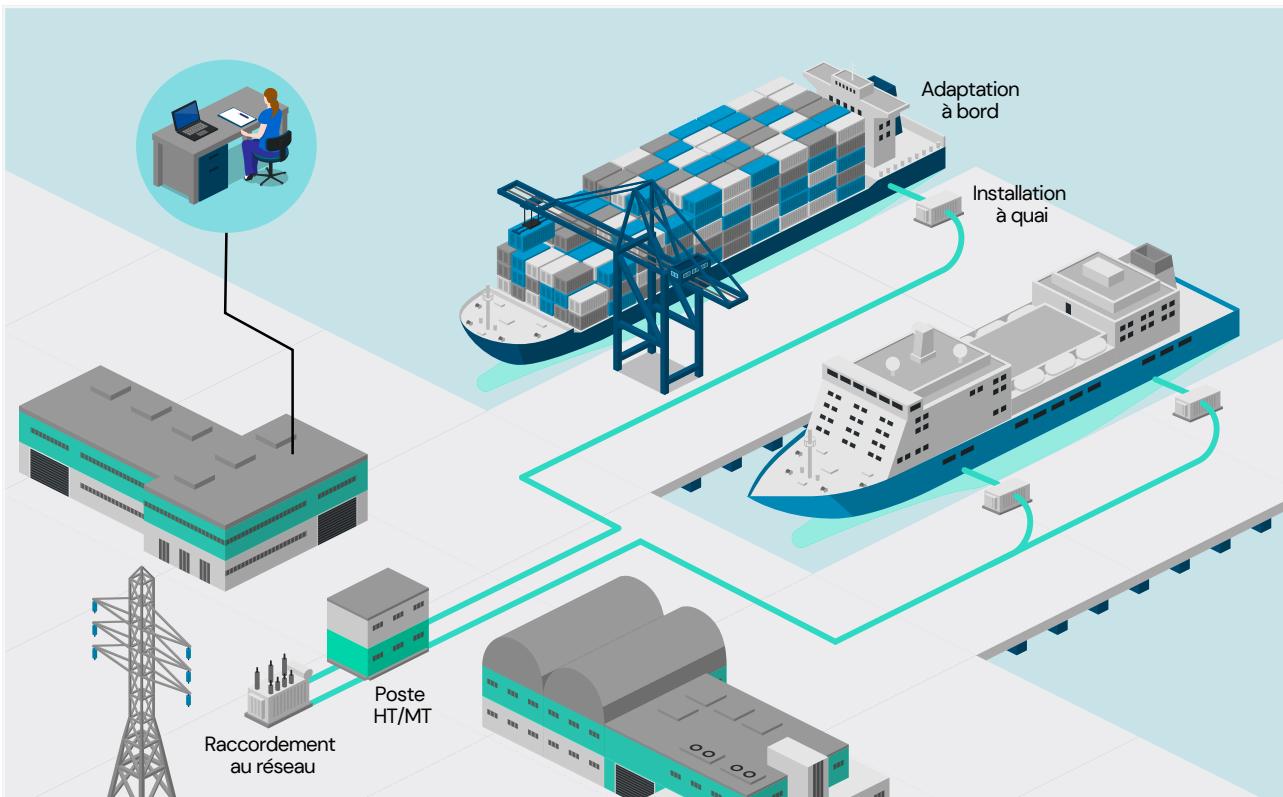
Le groupe de travail A4 a réalisé une étude de faisabilité complète.

- Électrification des portiques en accord avec les objectifs de l'UE visant à réduire de 55 % les émissions de CO₂ d'ici 2030 et à atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050. Cette partie n'a pas été étudiée dans le cadre de ce groupe de travail A4.

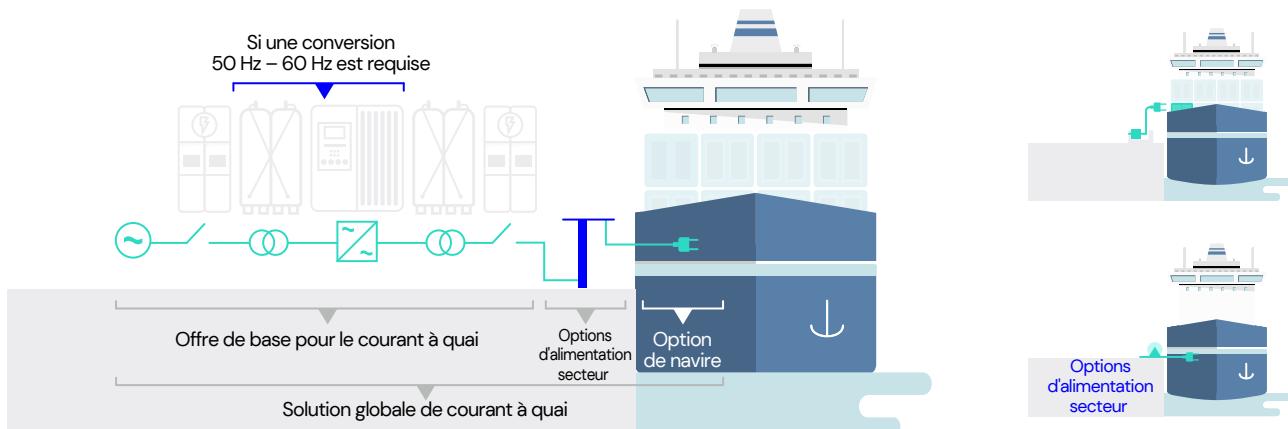
Shore Power proposal to stop emissions from ships in call

Principe :

raccorder les navires en escale au réseau électrique afin de réduire leurs émissions, le bruit et les vibrations



L'architecture électrique générale est illustrée dans le diagramme suivant



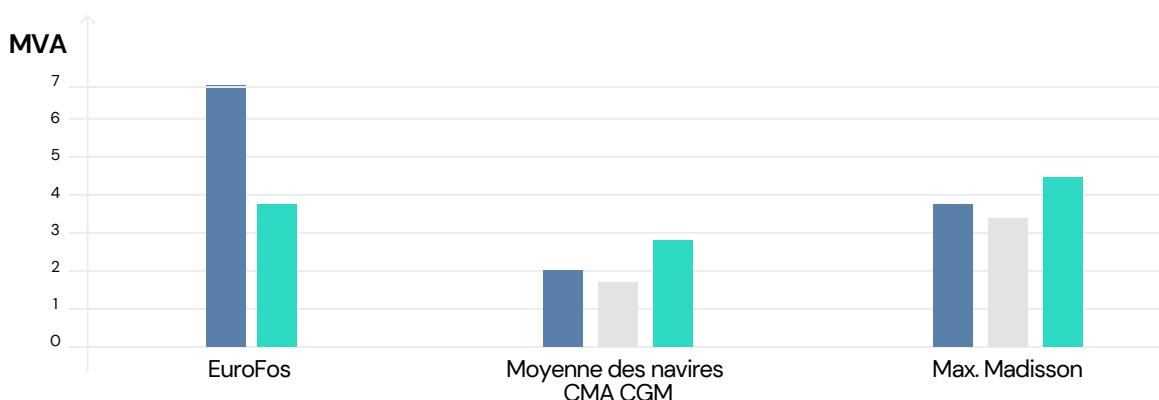
La proposition initiale a été analysée pour le terminal EuroFos dans le port de Marseille. CMA CGM utilise deux postes à quai. Les navires pourraient être raccordés sur ces deux postes.

Données sur les navires en escale et spécifications du terminal EuroFos

- Installations de courant à quai requises par EuroFos : 6,9 MVA max. (5,5 MW) et 3,75 MVA (3 MW) de puissance nominale.
- Données de CMA CGM

| | Besoins énergétiques actifs | Pic de besoins énergétiques 2 h après le raccordement | Pic de besoins énergétiques 1h avant le débranchement |
|----------|-----------------------------|---|---|
| Navire | 1,34 MW | 1,6 MW | 2,27 MW |
| | 1,675 MVA | 2 MVA | 2,84 MVA |
| Madisson | 2,6 MW | 2,76 MW | 3,46 MW |
| | 3,25 MVA | 3,45 MVA | 4,3 MVA |

- Besoins énergétiques



Disposition du terminal EuroFos (image Google Earth)

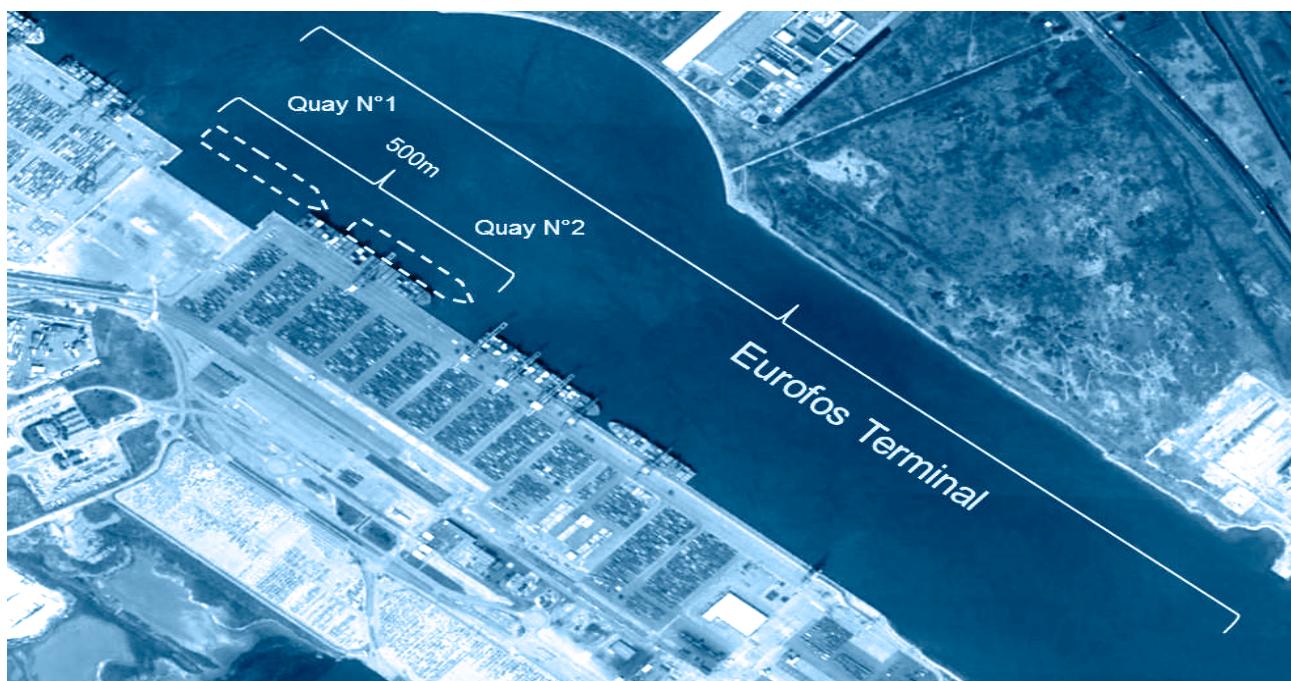
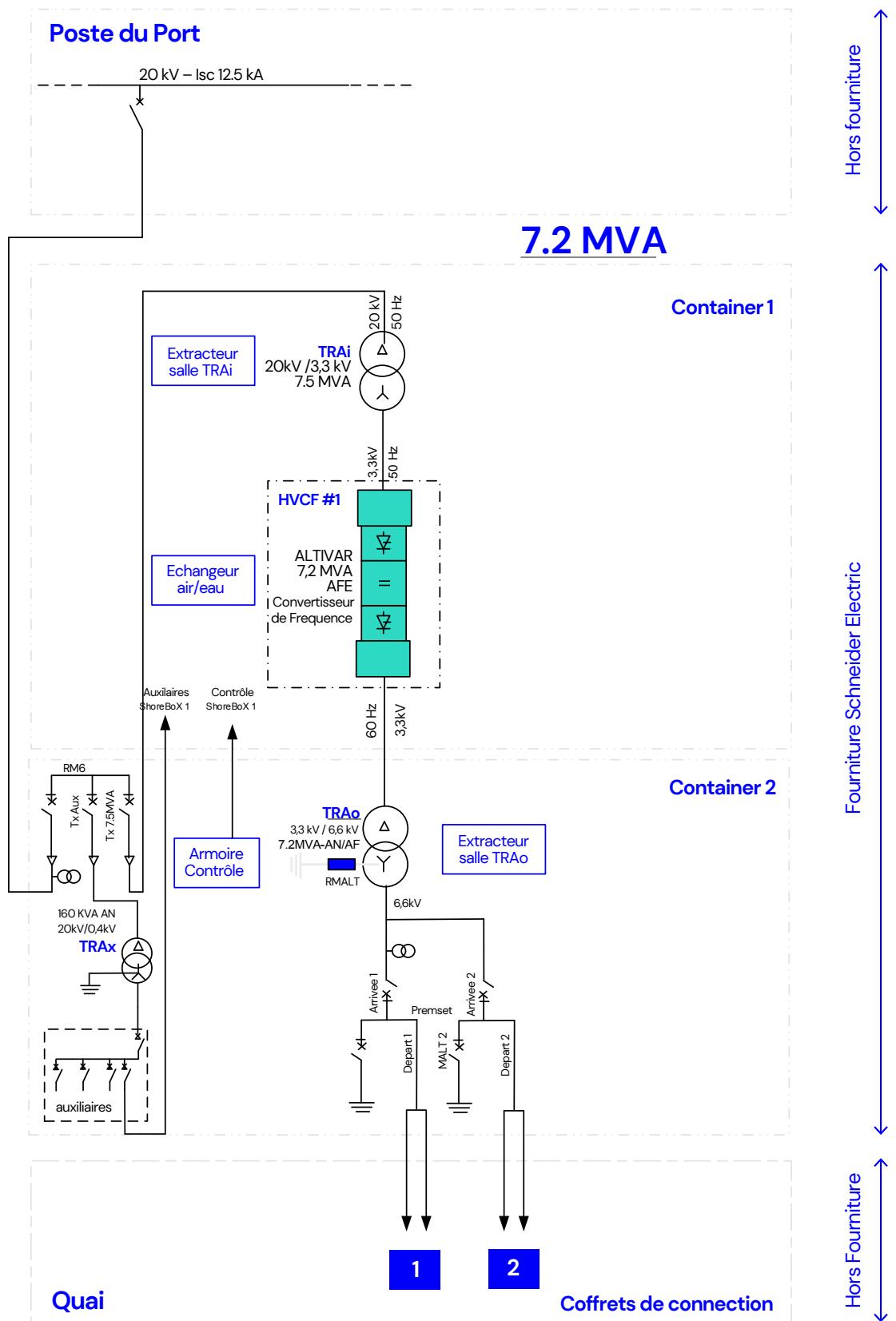


Schéma unifilaire



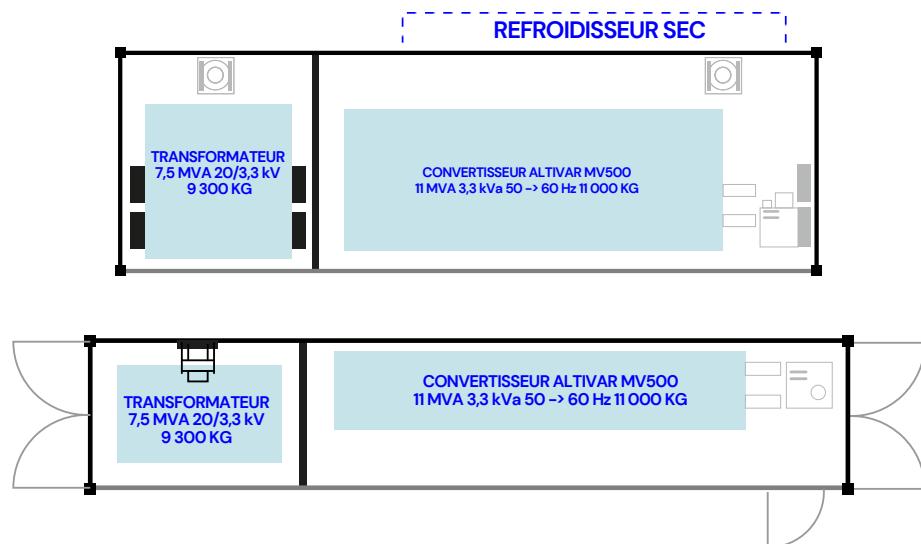
Design de référence / Disposition de la structure

La solution proposée est intégrée dans une structure métallique. Cette structure est conforme aux normes CEI / IEEE 80005-1 et 80005-2 concernant les systèmes de connexion à quai à haute tension. Dans cette proposition préliminaire, un seul navire peut être raccordé, mais avec deux positions sur le poste à quai.

Ce design de référence est basé sur un convertisseur de fréquence. La solution globale comporte deux structures métalliques

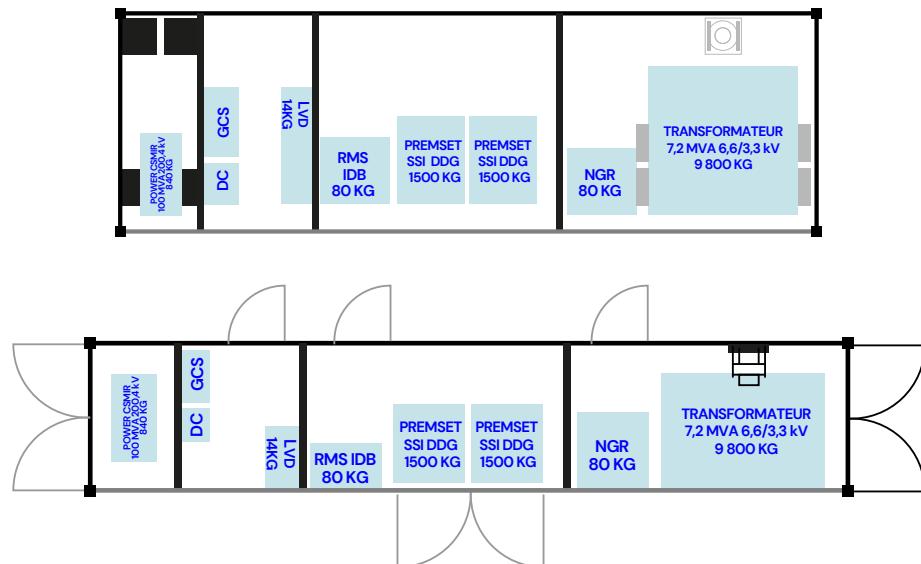
Structure 1

- Transfo. d'entrée (TRAI)
- Convertisseur de fréquence (SFC)
- Système de refroidissement externe

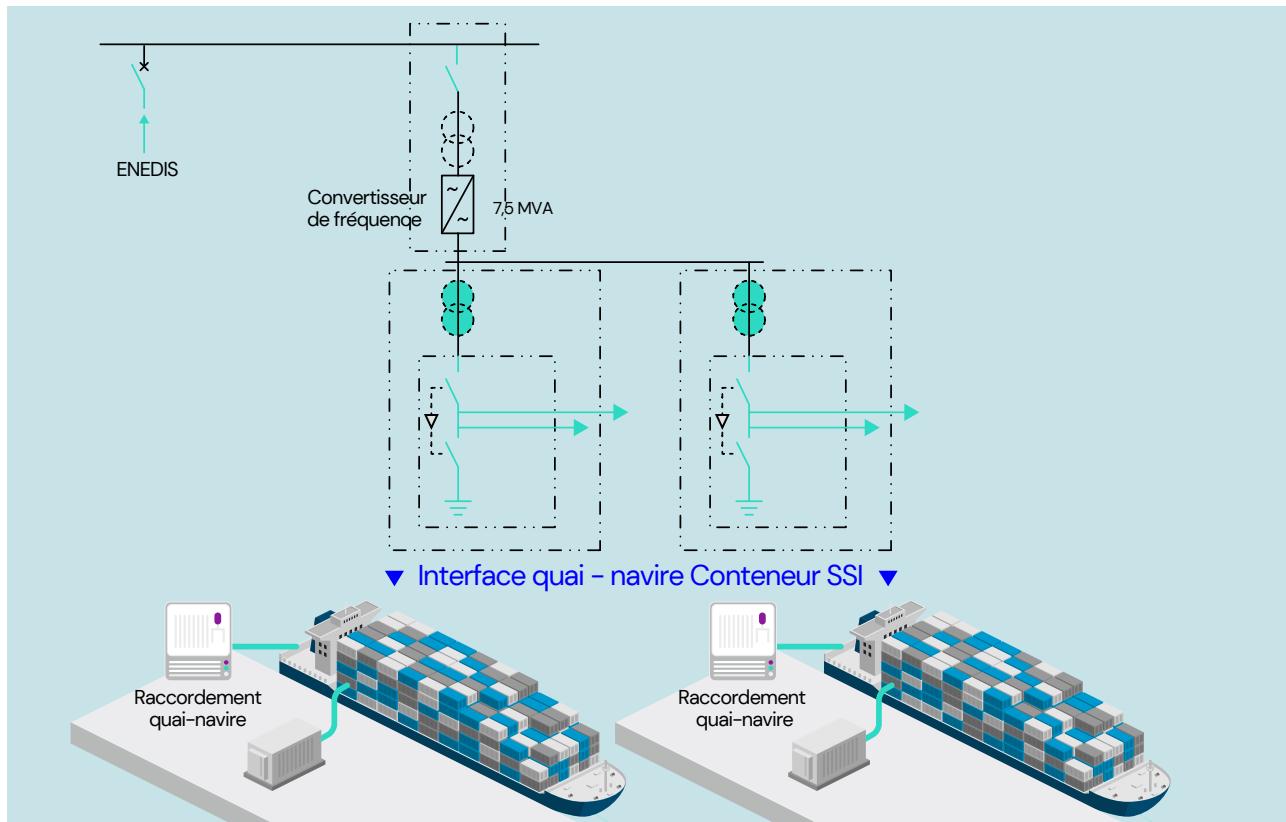


Structure 2

- Interface quai-navire MT de 6,6 kV (SSI)
- Connexion en amont MT de 20 kV
- Armoire de commande, incluant la gestion de la boucle de sécurité
- Distribution électrique de l'alimentation secteur et auxiliaire
- Transformateur de l'alimentation auxiliaire (TRAx)
- Transfo. de sortie (TRAo)

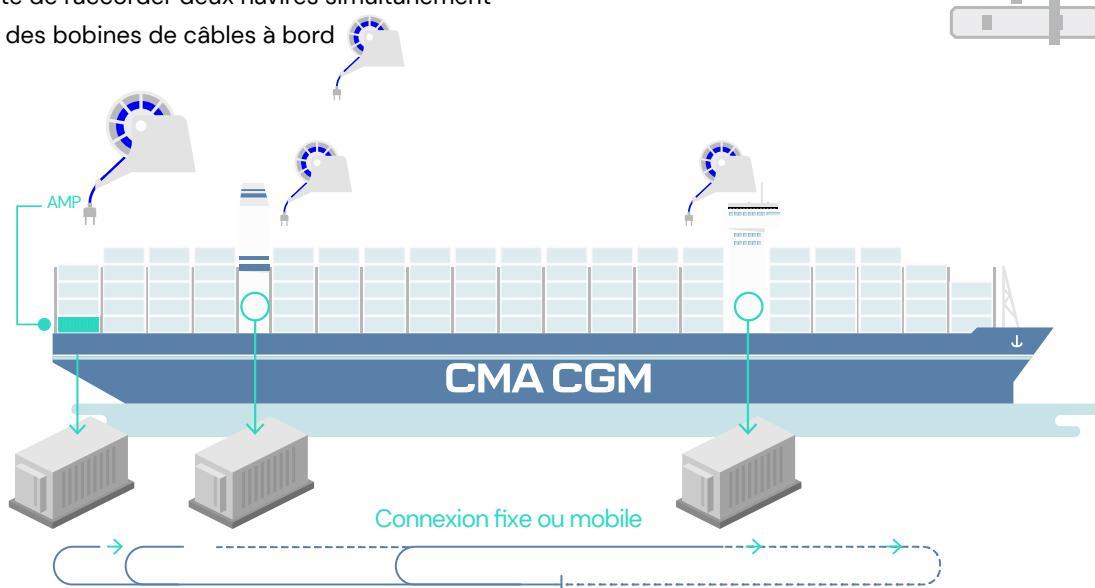


Autre proposition pour raccorder deux navires en même temps

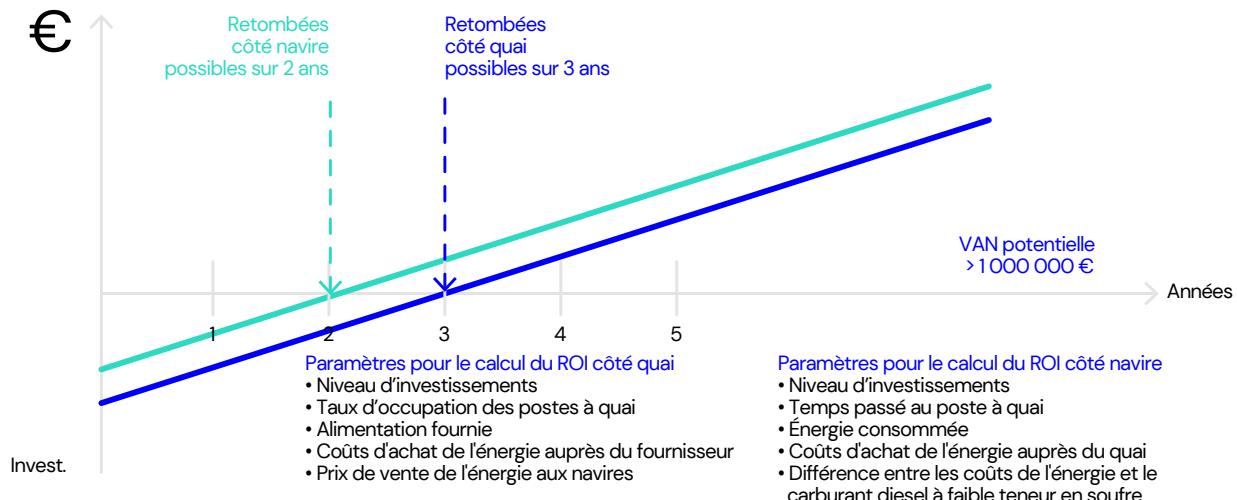


- Profil de charge des porte-conteneurs pour dimensionner le schéma unifilaire
- À ce stade, un seul navire peut être raccordé dans deux positions différentes
- Possibilité de raccorder deux navires simultanément
- Position des bobines de câbles à bord

- Position de l'alimentation d'entrée (PIT)
- Raccordements à quai flexibles et mobiles
- Raccordement à bord : Bâbord, tribord ou les deux
- Position du navire au poste à quai



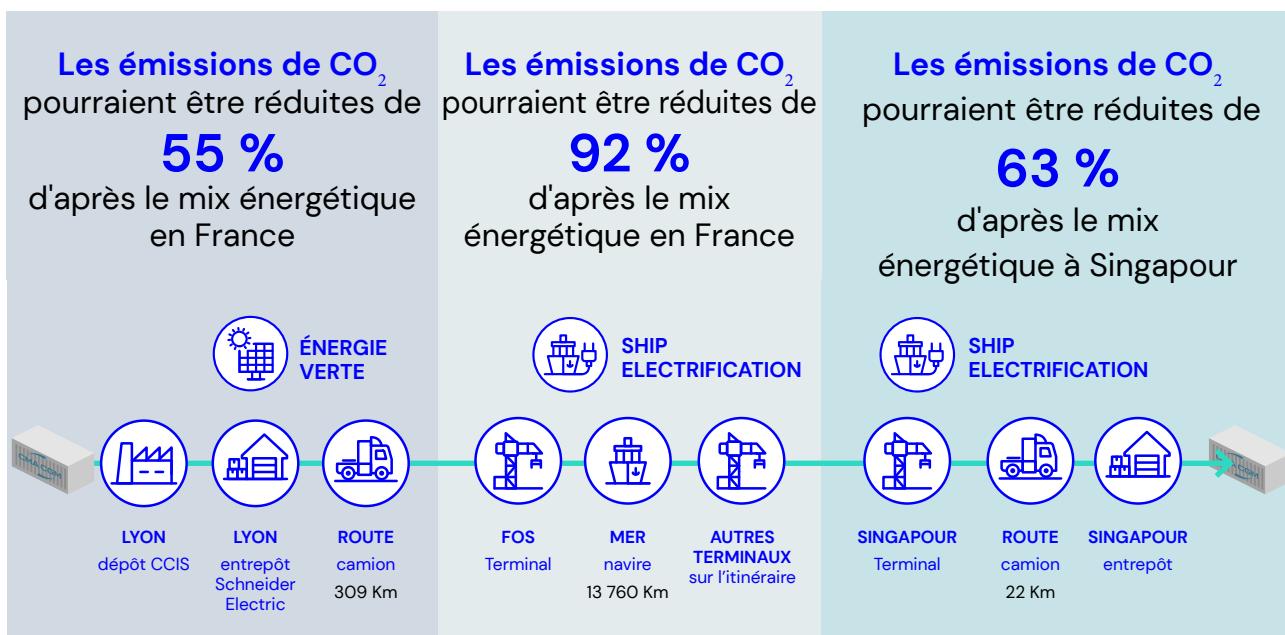
Calcul du retour sur investissement, en fonction des paramètres



Conclusion du Groupe de Travail

Ce groupe de travail étudie les énergies utilisées dans un terminal à conteneurs, un entrepôt et un dépôt afin de réduire les émissions de CO₂. De nombreuses opportunités pourraient voir le jour dans les années à venir. L'étude de faisabilité a été réalisée. Des projets peuvent désormais être concrétisés.

Voici un résumé des résultats



Merci à tous les participants à ce groupe de travail qui cherche comment atteindre cet objectif
 « Remplacer autant que possible les carburants par de l'électricité verte ».

Hugues Berthet
Schneider Electric
26 janvier 2022



NEW ENERGIES

The energies coalition for transport & logistics

www.newenergies-coalition.com