

## Options technologiques pour les lignes 400kV: comparaison des technologies



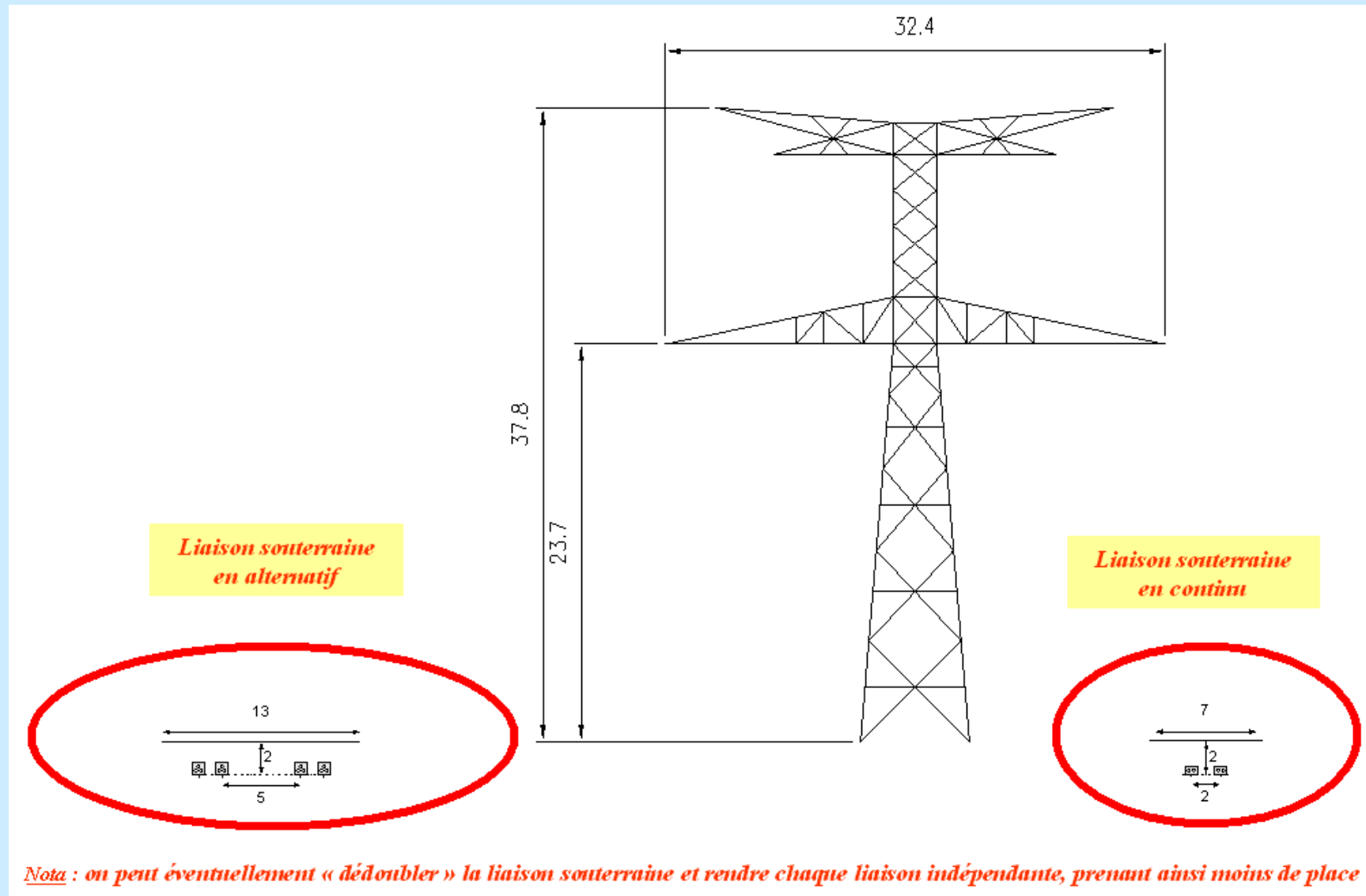
**Bruno Cova - CESI SpA – Milan (Italie)**

**Michele de Nigris - CESIRICERCA SpA - Milan (Italie)**

Technologie	Install.	Configuration	Nb de câbles / phase	Puissance (MVA / circuit)
<b>Aérien</b>	-	-	<b>3</b>	<b>2000 à 2.200</b>
<b>Câble Souterrain en alternatif</b>	<b>Enterré</b>	<b>Pose en trèfle</b>	<b>1</b>	<b>1.100</b>
			<b>2</b>	<b>2.170</b>
	<b>Pose en nappe</b>	<b>1</b>	<b>1.160</b>	
		<b>2</b>	<b>2.250</b>	
	<b>En tunnel ou en galerie</b>	<b>Pose verticale 1 tunnel</b>	<b>1</b>	<b>1.700</b>

**POUR OBTENIR UNE PUISSANCE TRANSITEE EQUIVALENTE A CELLE D'UNE LIGNE AERIENNE DOUBLE TERNE, IL EST NECESSAIRE D'INSTALLER, EN SOUTERRAIN ALTERNATIF, DEUX CIRCUITS A DOUBLE TRICABLE**

*En revanche, en courant continu, 4 câbles (2 bipôles) suffisent pour obtenir une capacité d'interconnexion comparable*



## Conduction et évolution du réseau

	Ligne aérienne	Liaison souterraine en courant alternatif	Liaison souterraine en courant continu
<b>Possibilité d'augmenter la capacité a posteriori</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Jusqu'à 30% pour les câbles CEE, et 60 % pour les câbles ACSS	<input checked="" type="checkbox"/> Très limitée	<input checked="" type="checkbox"/> Très limitée <input checked="" type="checkbox"/> Flux contrôlé par opérateur
<b>Possibilité de surcharge</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Très limitée: 10% pendant quelques minutes	<input checked="" type="checkbox"/> 200% pendant quelques dizaines d'heures <input checked="" type="checkbox"/> Vieillessement accéléré	<input checked="" type="checkbox"/> Non permise <input checked="" type="checkbox"/> Flux contrôlé par opérateur
<b>Compensation du réactif</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Aucune	<input checked="" type="checkbox"/> à partir de 25 à 30 km <input checked="" type="checkbox"/> 25 MVAR/km	<input checked="" type="checkbox"/> Aucune

## Emprise de chantier

	Ligne aérienne	Liaison souterraine en courant alternatif	Liaison souterraine en courant continu
<b>Emprise de chantier</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☑ 800 m<sup>2</sup>/pylône</li> <li>☑ 1 pylône tous les 400 à 500 m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Chantier continu sur longueur 1.5km</li> <li>☒ Chantier sur front largeur 15 - 25 m</li> <li>☒ compensation réactif à chaque extrémité puis tous les 25 – 30 km</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☑ Même longueur de chantier, mais largeur de front réduite à 10 - 15 m</li> <li>☒ Chantier important pour postes de conversion alternatif continu aux extrémités</li> </ul>
<b>Vitesse d'avancement</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☑ 60 jours / pylône au total, par opérations non continues</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☑ 50-100 m/jour en rural par tranchée, sans obstacle majeur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☑ 50-100 m/jour en rural par tranchée, sans obstacle majeur</li> </ul>
<b>Impacts de chantier</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Engins terrassement, poussière et bruit ponctuellement (au niveau des pylônes)</li> <li>☒ Pistes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Engins terrassement (terrassement en continu)</li> <li>☒ Poussière</li> <li>☒ Bruit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Engins terrassement (terrassement en continu)</li> <li>☒ Poussière</li> <li>☒ Bruit</li> </ul>

*Nota : pour une liaison sous-marine, l'avancement du chantier et les impacts sont fonction de la technique de pose, de la profondeur de pose, et de la nature des fonds sous-marins.*

## Emprise permanente

	Ligne aérienne	Liaison souterraine en courant alternatif	Liaison souterraine en courant continu
<b>Utilisation du terrain</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☑ 250 m<sup>2</sup>/pylône</li> <li>☑ 1 pylône tous les 400 à 500 m</li> <li>☒ Cultures de hauteur limitée par endroits</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ sur 5-6 m de largeur limitation aux cultures</li> <li>☒ 1 jonction/700 à 1000m</li> <li>☑ Emprise limitée si tracé longe une route/voie ferrée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ sur 5-6 m limitation aux cultures</li> <li>☒ 1 jonction /700 à 1000m</li> <li>☑ Emprise limitée si tracé longe une route/voie ferrée</li> </ul>
<b>Impact sur le milieu naturel</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ ponctuel à chaque pylône</li> <li>☒ Oiseaux de grande envergure si pas de dispositif adapté</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☑ Impact lié au tracé continu</li> <li>☒ Milieu végétal affecté et possibilité que l'écoulement des eaux soit perturbé le long de l'ouvrage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☑ Impact lié au tracé continu</li> <li>☒ Milieu végétal affecté et possibilité que l'écoulement des eaux soit perturbé le long de l'ouvrage</li> </ul>
<b>Impact visuel</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Important</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☑ Peu élevé, mais fonction de la tranchée et de sa cicatrisation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☑ Câbles: peu élevé, mais fonction de la tranchée et de sa cicatrisation</li> <li>☒ Postes: important</li> </ul>
<b>Emprise des postes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☑ 800 m<sup>2</sup>/circuit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☑ 800 à 1000 m<sup>2</sup>/circuit</li> <li>☒ 3000 m<sup>2</sup>/poste de compensation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ 35000 – 50000 m<sup>2</sup> par poste de conversion (ref. 1400 MW)</li> </ul>

## Enjeux économiques

	Ligne aérienne	Liaison souterraine en courant alternatif	Liaison souterraine en courant continu
<b>Coûts d'investissement</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☑ 0.6-1 M€/km en plaine</li> <li>☑ 1,5-2 M€/km en montagne</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ 4-8 M€/km double tri câble sans obstacles (*)</li> <li>☒ Coûts en cas d'obstacles à évaluer pour situation spécifique</li> <li>☒ Compensation courant capacitif: 150 k€/km de câble</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Postes de conversion (deux postes) : 200-230 k€/MW: pour liaison 1400MW coût total postes de conversion: env. 300M€</li> <li>☑ Ligne en câble enterré : 1 M€/km sans obstacles</li> <li>☒ Coûts en cas d'obstacles à évaluer pour situation spécifique</li> </ul>
<b>Coûts du terrain</b>	Aspect important: à étudier dans chaque cas		
<b>Coûts de gestion</b>	☑ 2 à 3% des Coûts d'Investissement (CI)	☑ 1,5 à 2% CI	☑ 2,5% CI
<b>Coûts des pertes</b>	☑ 190 k€/km*an (4000MW)	☑ 100 k€/km*an (4000 MW)	☑ 90 k€/km*an (1400MW)
<b>Coûts de démantèlement</b>	☑ 0,05% CI	☑ 0,08% CI	☑ 0,04% CI

## Aspects complémentaires

	Ligne aérienne	Liaison souterraine en courant alternatif	Liaison souterraine en courant continu
Expérience précédente	<ul style="list-style-type: none"> <li>☑ Technologie bien maîtrisée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☑ Technologie bien maîtrisée sur de courtes distances</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☑ Technologie bien maîtrisée</li> </ul>
Fiabilité attendue	<ul style="list-style-type: none"> <li>☑ Bien maîtrisée:</li> <li>☑ Nombre de déclenchements (ND) élevé de courte durée</li> <li>☑ Possibilité de ré-enclenchement automatique (REA)</li> <li>☑ Délai de réparation de quelques heures à quelques jours</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☑ Assez bien maîtrisée (les points faibles sont les jonctions)</li> <li>☑ ND très limité; durée de réparation très élevée (plusieurs semaines)</li> <li>☑ REA non possible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☑ Bien maîtrisée</li> <li>☑ ND très limité; durée de réparation très élevée ;</li> </ul>

## Synergies avec ouvrages existants

	Ligne aérienne	Liaison souterraine en courant alternatif	Liaison souterraine en courant continu
<b>Dépassement d'obstacles</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> Traversée de routes: bien maîtrisée et aisée</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Traversée de rivières: bien maîtrisée et aisée</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Traversée de montagnes: bien maîtrisée bien que parfois difficile</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> Traversée de routes: bien maîtrisée et aisée</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Traversée de rivières: maîtrisée (ensouillage, fonçage ou forage)</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Traversée de montagnes: pose en tunnel complexe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> Traversée de routes: bien maîtrisée et aisée</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Traversée de rivières: maîtrisée (ensouillage, fonçage ou forage)</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Traversée de montagnes: pose en tunnel complexe</li> </ul>
<b>Intégration dans les ouvrages existants</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> Possibilités de regroupement géographique avec d'autres infrastructures</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Routes: aucune synergie</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Chemins de fer: aucune synergie</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Ponts: aucune synergie</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Tunnels: aucune synergie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> Routes: utilisation possible de l'emprise</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Chemins de fer: utilisation possible de l'emprise de la voie</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Ponts: possibilité d'intégration dans la structure</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Tunnels: difficile si tunnel non initialement prévu à cet effet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> Routes: utilisation possible de l'emprise</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Chemins de fer: utilisation possible de l'emprise de la voie</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Ponts: possibilité d'intégration dans la structure</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Tunnels: difficile si tunnel non initialement prévu à cet effet</li> </ul>

## Contexte

### ❑ Milieu physique:

- Plaine ou colline douce
- Montagne ou relief accidenté et complexe

### ❑ Milieu naturel:

- Nombreux sites classés SIC ou ZICO

### ❑ Urbanisation:

- quelques concentrations de bâti
- villages épars et habitations isolées

### ❑ Occupation du sol:

- montagne: forêt
- plaine: cultures (vigne et diversification)
- côte: vocation touristique

## Infrastructures

- Autoroute A9/AP7
- Route N9/CN II
- Axe ferroviaire Perpignan-Gérone-Barcelone
- Nouvel axe ferroviaire TGV
- Ligne électrique THT Baixas-Vic

## Ligne aérienne en courant alternatif (CA)

### ❑ Utilisation terrain:

- présence des pylônes
- limitation hauteur des cultures

### ❑ Milieu naturel:

- défrichage
- limitation type de cultures
- oiseaux

### ❑ Impact visuel:

- contrainte majeure
- techniques d'intégration (autres ouvrages)

### ❑ CEM (Champs Electro-Magnétiques):

- 50  $\mu\text{T}$  max à IMAP (Intensité Maximale Admissible en Permanence)
- 6  $\mu\text{T}$  à intensité normale de courant

## Ligne enterrée CA

### ❑ Utilisation terrain:

- limitations type de cultures (racines)

### ❑ Milieu naturel:

- défrichage et terrassement en chantier
- réchauffement et assèchement du terrain
- interférence avec eaux superficielles

### ❑ Impact visuel:

- présence ouvrages (TGV) existants
- déboisement et défrichage
- postes d'extrémité, compensation, chambres jonction

### ❑ CEM:

- 10-12  $\mu\text{T}$  max à IMAP à 1 m du sol

## Ligne enterrée en courant continu (CC)

### □ Utilisation terrain:

- comme enterrée en CA + postes de conversion (3,5-5,0 ha)

### □ Milieu naturel:

- comme enterrée en CA

### □ Impact visuel:

- comme CA + postes conversion

### □ CEM:

- champ statique comparable au champ magnétique naturel

## Ligne sous marine CC

### ❑ Utilisation terrain:

- comme enterrée en CC sur tronçon souterrain

### ❑ Milieu naturel:

- tronçon souterrain: comme enterrée en CA mais longueur plus importante pour éviter zones protégées en Espagne
- arrivée sur la côte difficile à cause de l'urbanisation dense
- tronçon sous marin: profondeurs importantes et relief complexe
- prairies de posidonies protégées

### ❑ Impact visuel:

- comme enterré CC

### ❑ CEM:

- champ statique comparable au champ magnétique naturel