

**Évaluation, dans le cadre du projet ELMED, de
la capacité maximale de production
d'électricité à partir de sources renouvelables
non-programmables, connectables au réseau
de transport de la Tunisie conformément aux
conditions de sécurité et de qualité**

Bruno Cova – CESI SpA

Sommaire

- **But de l'analyse**
- **Résultats attendus**
- **Hypothèses de l'étude & méthodologie**
- **Impact sur le réseau de transport de la Tunisie de la nouvelle centrale ELMED**
- **Capacité maximale de production de sources renouvelables non programmables**



But de l'analyse

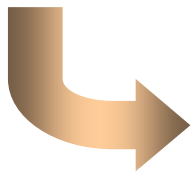
Cette étude a un double objectif:

- **analyse de l'impact sur le réseau de transport de la Tunisie de la nouvelle centrale ELMED**
- **évaluation de la capacité maximale de production de sources renouvelables non programmables**



Résultats attendus

1. **But:** définition des renforcements du réseau de transport pour garantir les conditions de sécurité statique et dynamique face à la mise en service des Groupes de Production (centrale) ELMED et la réalisation de la nouvelle interconnexion HTCC Tunisie-Sicile

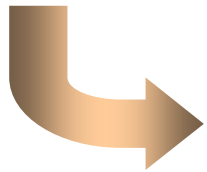


Résultats attendus: indications sur:

- ✓ les **nouvelles lignes de transport et les transformateurs** à être installés
- ✓ les éventuelles **limitations sur la taille maximale des nouvelles unités** de la centrale ELMED

Résultats attendus

2. But: définition de la puissance maximale produite par sources renouvelables (ER) non programmables se référant au parc de production et structure de réseau définis dans l'étape précédente



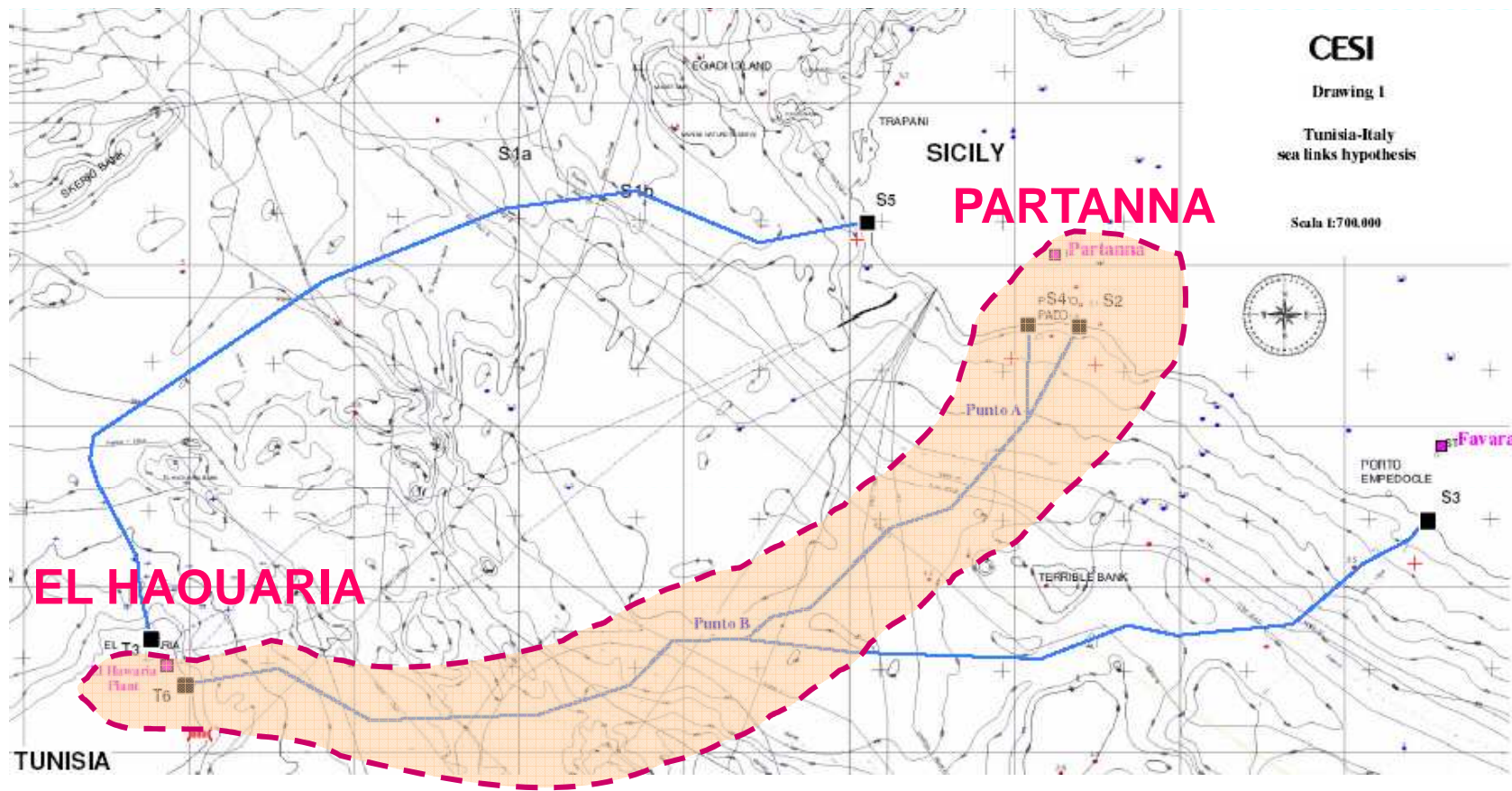
Résultats attendus: indications sur:

- ✓ La **capacité maximale** de production ER non programmable
- ✓ Possible localisation géographique et **schémas les plus favorables de connexion au réseau de transport**



Hypothèses de l'étude & méthodologie

Année horizon à examiner: 2016, qui représente l'année d'entrée en service de la nouvelle liaison HTCC



Hypothèses de l'étude & méthodologie

Taille maximale de la nouvelle centrale ELMED: 1200 MW, dont:

**400 MW pour la
demande interne**



Plusieurs variantes examinées pour le choix de la localisation de la centrale ELMED: de El Hawaria à Skhira – Différentes combustibles et technologies de production

Hypothèses de l'étude & méthodologie

- **Analyses statiques** en conditions extrêmes d'exploitation.
 - ✓ condition de charge de pointe
 - ✓ condition de charge de creux

- **Analyses dynamiques**, appliquées au site de la centrale ELMED le plus éloigné du convertisseur CA/CC de la liaison HTCC vers la Sicile:
 - ✓ Déclenchement de l'unité de taille la plus grande
 - ✓ Défauts sur le réseau de transport



Hypothèses de l'étude & méthodologie

- **Pour la production de source renouvelable non programmable:**
 - ✓ Pas de changement dans les plans de démarrage (“unit commitment”) des unités thermiques décidées par la STEG
 - ✓ Priorité dans l'analyse:
 - centrales à sources renouvelables déjà existantes (ex. Sidi Daoued)
 - centrales à sources renouvelables dont la construction a été déjà décidée (Metline, Kechabta)
 - autres centrales sur la base du facteur de capacité estimé et de la puissance développable



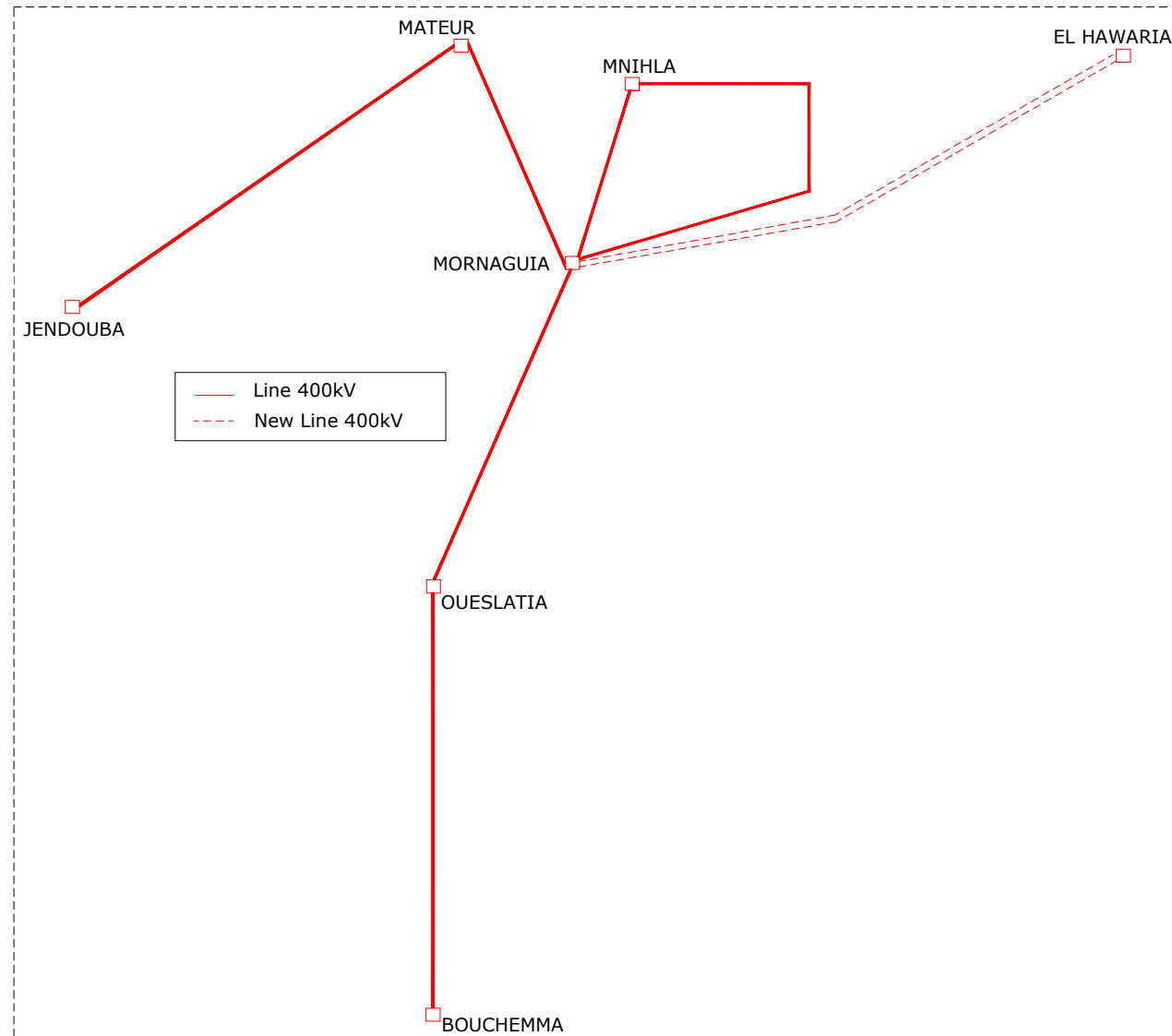
Impact sur le réseau de transport de la Tunisie de la nouvelle centrale ELMED

- Pour répondre aux critères de sécurité N-1, il faut deux lignes 400 kV pour la connexion de la centrale thermique ELMED et du convertisseur HTCC au réseau de transport tunisien.

- *Centrale thermique ELMED située à El Hawaria:*
 - ✓ variante la moins coûteuse, en termes de renforcements de réseau
 - ✓ pas de renforcements de réseau pour l'exportation de l'énergie vers la Sicile
 - ✓ Renforcements nécessaires seulement pour satisfaire la charge tunisienne: deux lignes 400 kV pour relier El Hawaria à Mornaguia avec une capacité de 1000 MW chacune, longueur ≈ 150 km.

Impact sur le réseau de transport de la Tunisie de la nouvelle centrale ELMED

- **Centrale thermique ELMED située à El Hawaria:**
 - ✓ Liaison El Hawaria-Mornaguia et réseau 400 kV prévu par la STEG à l'année 2016



Impact sur le réseau de transport de la Tunisie de la nouvelle centrale ELMED

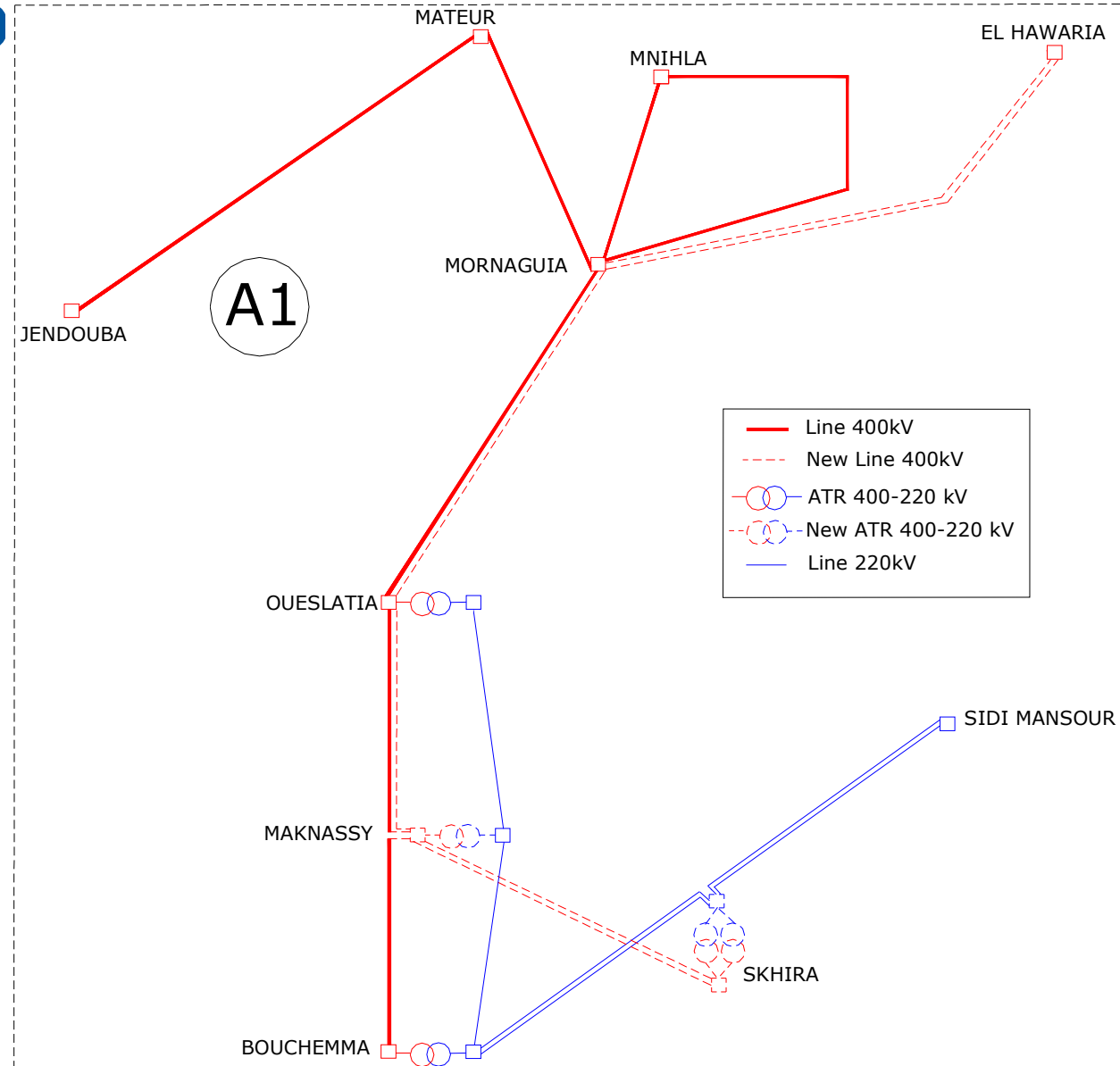
➤ *Centrale thermique ELMED située à Skhira:*

- ✓ l'emplacement de la centrale ELMED à Skhira comporte le doublement du couloir sud-nord 400 kV qui monte vers Mornaguia (longueur ≈ 450 km) ainsi qu'une ligne double ternes Skhira – Maknassy en 400 kV (longueur ≈ 70 km), en plus du couloir 400 kV de Mornaguia à El Hawaria pour l'exportation vers la Sicile
- ✓ Une connexion en 225 kV sur la ligne double ternes Bouchemma-Sidi Mansour a été aussi proposée pour plus de flexibilité dans la fourniture de la charge interne en Tunisie

Impact sur le réseau de transport de la Tunisie de la nouvelle centrale ELMED

➤ Centrale thermique ELMED située à Skhira:

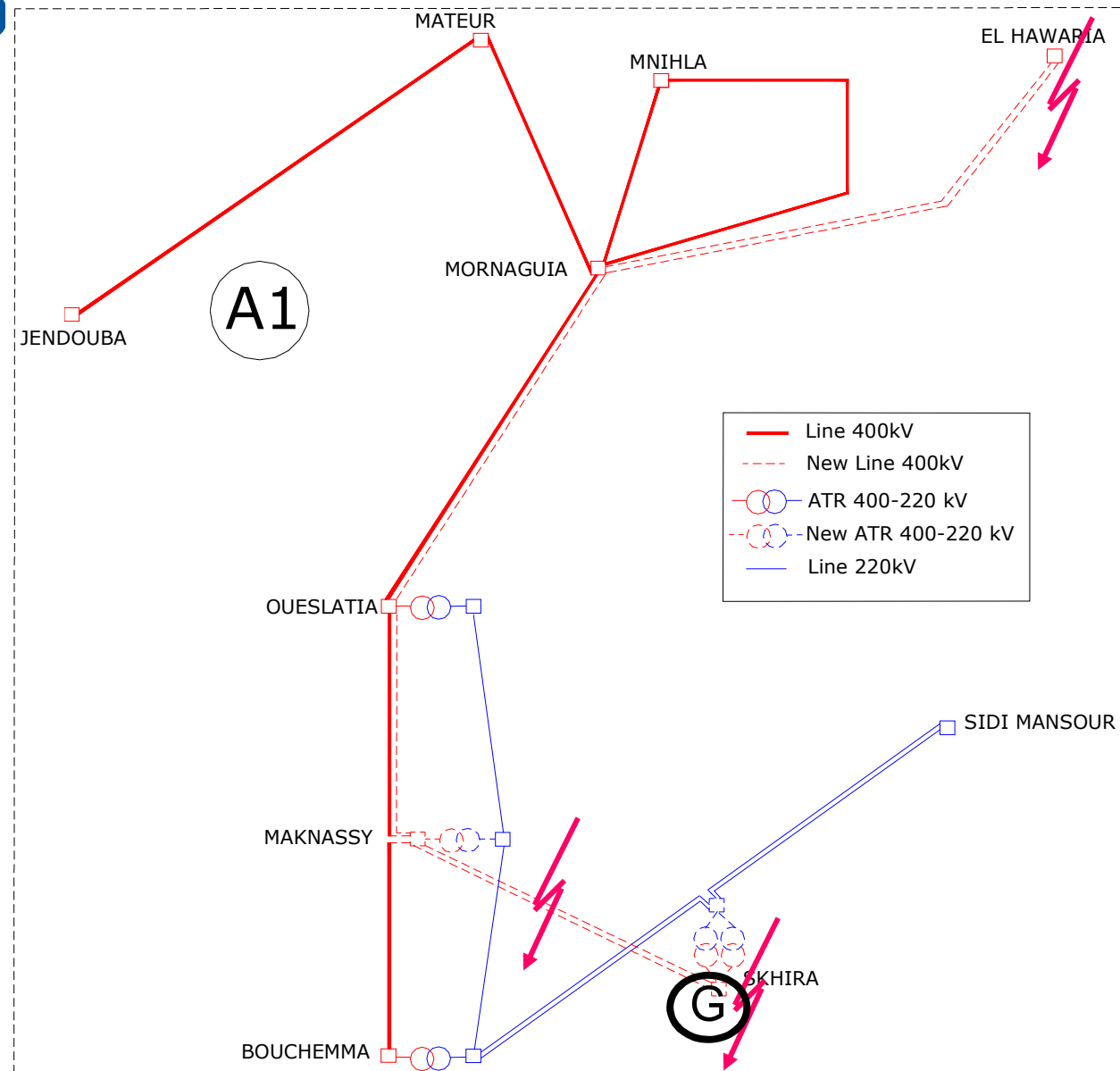
- ✓ Renforcements additionnels par rapport à ceux déjà prévus par la STEG à l'année 2016



Impact sur le réseau de transport de la Tunisie de la nouvelle centrale ELMED

➤ Analyses dynamiques appliquées dans le cas de la centrale ELMED située à Skhira:

- ✓ Court-circuit triphasé sur un terne de la ligne 400 kV Skhira–Maknassy;
- ✓ Perte d'un générateur à Skhira;
- ✓ Perte d'un pôle du système HTCC.



Impact sur le réseau de transport de la Tunisie de la nouvelle centrale ELMED

➤ Analyses dynamiques appliquées dans le cas de la centrale ELMED située à Skhira:

- ✓ La perturbation la plus critique est représentée par le court circuit triphasé sur la ligne 400 kV Skhira–Maknassy sortant du Pôle de production ELMED. Pour garantir une marge de stabilité adéquate, même en condition de production maximale de la centrale, une série de mesures ont été recommandées, telles que le l'installation d'un stabilisateur de système de puissance (PSS), d'un dispositif « Fast Valving » pour les soupapes de haute et moyenne pression et d'un système d'excitation indépendant.
- ✓ La perte d'une unité de production du Pôle ELMED a un impact acceptable sur le système électrique tunisien lorsqu'il est interconnecté avec l'Algérie et le convertisseur HTCC est équipée de régulateur de fréquence.

Capacité maximale de production de sources renouvelables non programmables

- La situation la plus contraignante est représentée par la production maximale de sources renouvelables (ER) non programmables en condition de charge de creux
- En se référant à la charge de creux annuel et sans changement du plan de démarrage des unités thermiques conventionnelles indiquées par la STEG, la quantité maximale de production ER est liée au niveau de production thermique de la centrale ELMED

Capacité maximale de production de sources renouvelables non programmables

Production ER maximum et puissance ER installée en fonction de la production thermique du Pôle ELMED

Niveau de production thermique du Pôle ELMED [MW]	Production ER maximum [MW]	Puissance ER installée (*) [MW]
400 (<i>cas limite</i>)	530	660
500	450	560
600	370	460
700	285	355
800	205	255

(*) facteur de foisonnement égal à 80%

Capacité maximale de production de sources renouvelables non programmables

- Analyses statiques: un schéma approprié de connexions distribuées sur le niveau de tension 90-225 kV ne requiert pas de renforcements supplémentaires du réseau de transport par rapport à ceux déjà prévus par la STEG et nécessaires pour l'évacuation de la production de la centrale ELMED (*conclusion valable en se référant à une distribution de la production ER située dans la région de Cap Bon et Bizerte*)
- Les analyses dynamiques ont considéré:
 - ✓ les performances du système face à l'imprévisibilité de la production ER
 - ✓ les réactions du système suite aux défauts

Capacité maximale de production de sources renouvelables non programmables

➤ Analyses dynamiques:

- ✓ l'intermittence de la production renouvelable non programmable n'affecte pas excessivement les performances du système, car les variations de fréquence et de tension restent dans des limites acceptables grâce à la régulation de fréquence du système HTCC et à la connexion avec l'Algérie. Il est recommandé que le convertisseur courant alternatif-courant continu soit équipé d'un système de contrôle de la fréquence.
- En cas d'importantes perturbations, pour éviter un effet de déclenchement en cascade des unités de production renouvelable, nous recommandons de ne pas équiper ces générateurs par des relais de dérivée de fréquence. Les courts circuits triphasés très proches à une centrale de source renouvelable peuvent provoquer son déclenchement.

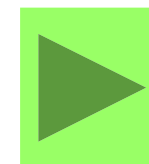
Capacité maximale de production de sources renouvelables non programmables

➤ Analyses dynamiques:

- ✓ La régulation de fréquence dans le convertisseur HTCC est importante pour améliorer les performances du système (en termes de régulation de fréquence) suite à un défaut sur le système.
- ✓ Pour ne pas atteindre des valeurs de tension trop élevées, surtout en condition de charge de creux, nous recommandons de fixer une absorption de la puissance réactive égal à 20% de la puissance nominale pour chaque générateur de source renouvelable (par conséquent, le facteur de puissance serait d'environ 0.97 en retard).

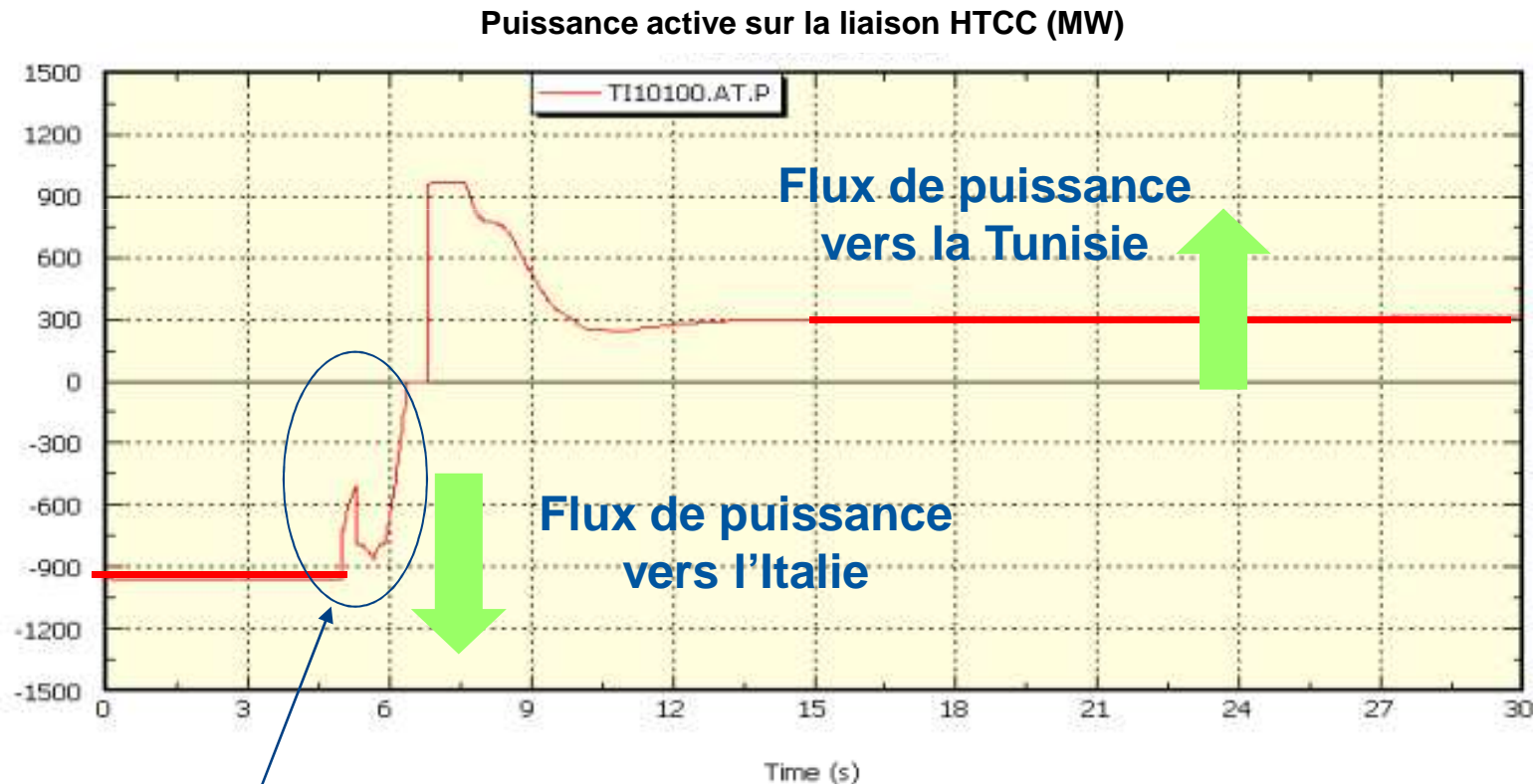
Bénéfices de l'interconnexion HTCC pour la Tunisie

- La liaison Tunisie-Italie procure des bénéfices pour l'amélioration de la performance du système électrique tunisien en termes de:
 - ✓ meilleure stabilité de la fréquence grâce à la contribution de la régulation de fréquence au moyen du système de contrôle dans le convertisseur courant alternatif-courant continu,
 - ✓ possibilité de faire face à des conditions d'extrême urgence, grâce à la diminution soudaine de la puissance en exportation vers la Sicile ou, si nécessaire, à l'inversion rapide du flux de puissance sur la liaison HTCC avec un apport de puissance de l'Italie vers la Tunisie.



Merci de votre attention

Inversion rapide du flux de puissance sur la liaison HTCC



Court circuit triphasé – déclenchement des unités thermiques ELMED et, en cascade, des unités à ER

