

# Expérience et projets de la STEG dans le développement des énergies renouvelables

*Afef CHALLOUF - STEG*

# APERCU HISTORIQUE du développement des ENR en Tunisie

- ✓ L'histoire des ENR a commencé durant les années 50 avec la construction des premières centrales hydrauliques
- ✓ Le développement de cette filière est resté limité tenant compte de la faiblesse des ressources hydrauliques

# APERCU HISTORIQUE du développement des ENR en Tunisie

Développement de l'éolien à partir des années 90

A cette époque, l'application n'était pas encore rentable

# Approche de la STEG pour le développement de l'éolien

Approche pragmatique

Commencer par des projets de petite taille et aller progressivement

# CENTRALE EOLIENNE SIDI DAOUD

Puissance totale: 55 MW

	Nombre d'éoliennes	Puissance unitaire	Hauteur de la tour
<b>Étape A : 10 MW</b>	<b>32</b>	<b>330 Kw</b>	<b>30 m</b>
<b>1ère Extension: 10 MW</b>	<b>12</b>	<b>10</b>	<b>660 Kw</b>
		<b>1</b>	<b>800 Kw</b>
		<b>1</b>	<b>1320 Kw</b>
<b>2ème Extension: 35 MW</b>	<b>26</b>	<b>1320 Kw</b>	<b>60 m</b>



A l'issue de cette expérience, la STEG est arrivée à convaincre de sa capacité à réaliser des projets éoliens avec un cout de kWh compétitif.

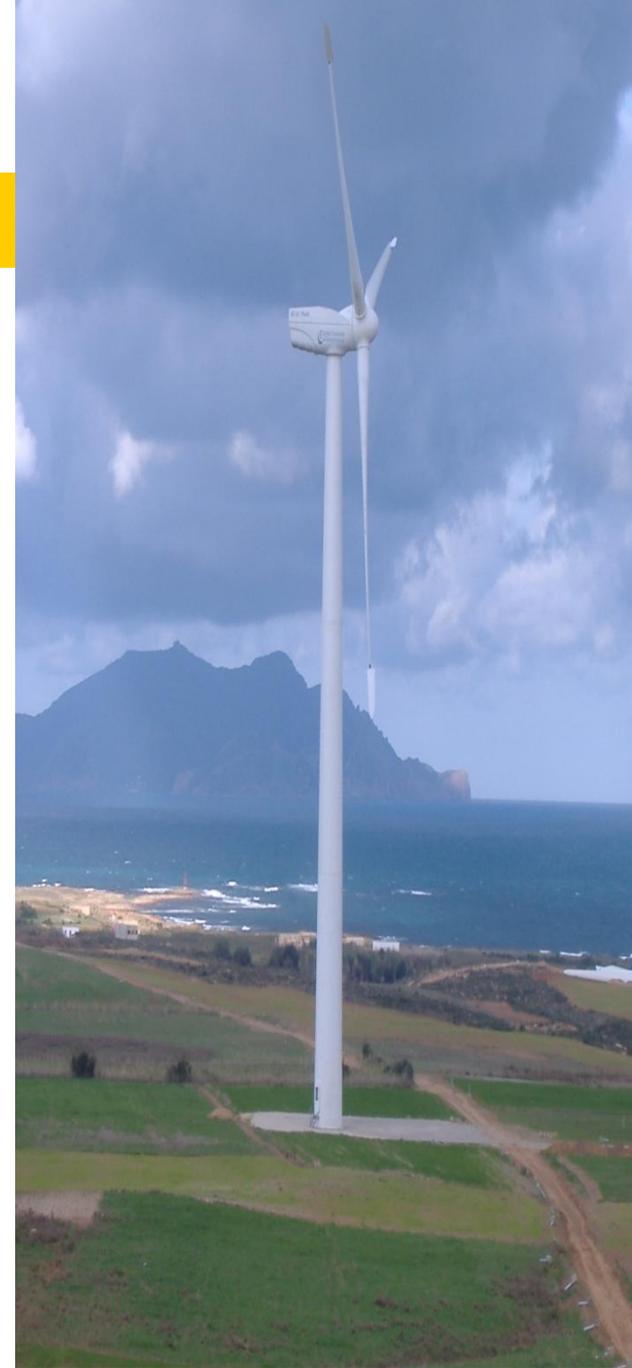
C'est ainsi qu'un deuxième projet fut construit sur les sites de Metline et Kchabta, actuellement en cours de mise en service.

## CENTRALES METLINE ET KCHABTA

**Puissance: 190 MW**

**Production: 600 GWh / an**

**Mise en service: 2012**



# Part de l'éolien en 2013:

5 % de la production nationale d'électricité, soit un taux comparable à la moyenne européenne

# Développement de l'électro-solaire

- Années 80: Centrale PV pilote d'une centaine de kW
- Deuxième étape: PV pour le rural éloigné du réseau

# Développement de l'électro-solaire

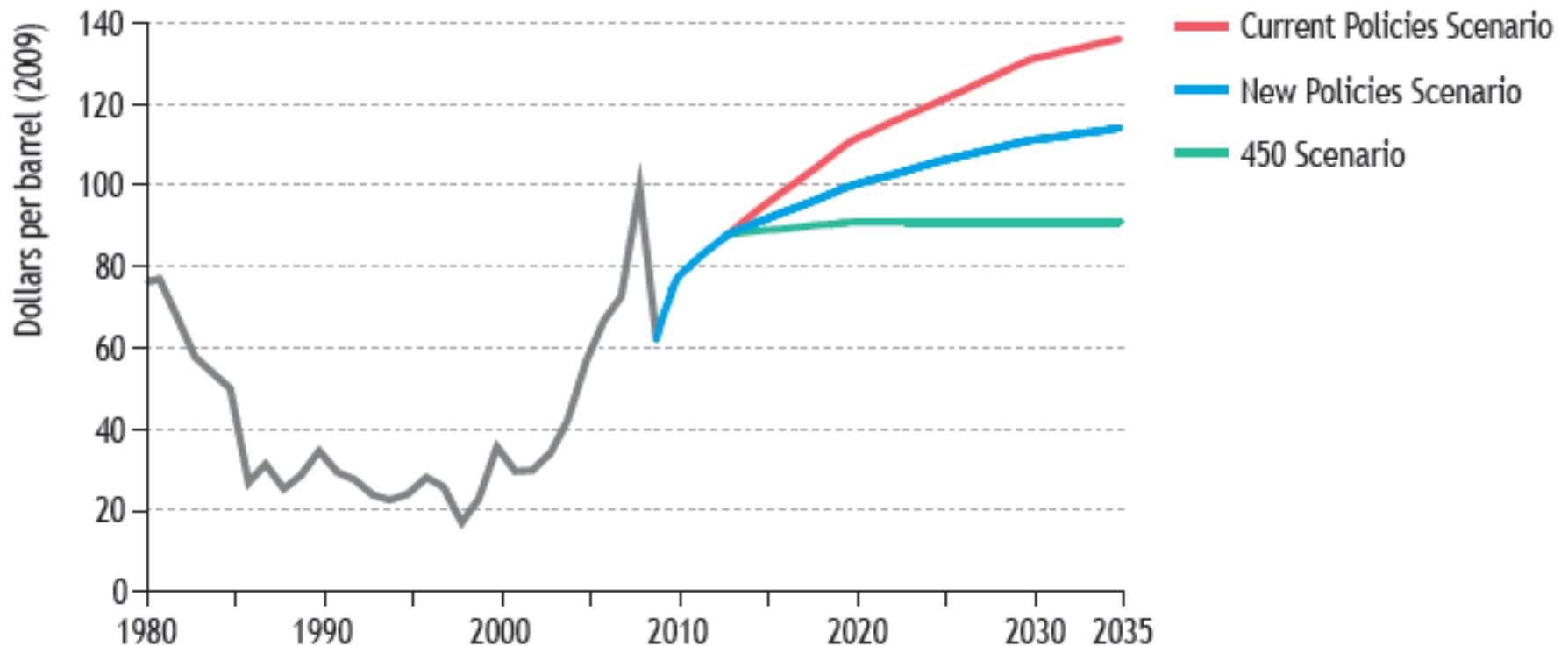
- 2010/2012: Participation au programme national de réalisation de toits solaires (env. 3000 à ce jour)
- Réalisation de toits solaires à l'agence commerciale de Tunis et à la centrale de Metline
- Etude de faisabilité en cours pour réaliser une centrale PV et thermosolaire

# Contexte du secteur

# Hausse des prix des combustibles

Contexte marqué par un retour à la hausse des prix des combustibles

**Figure 1.2** ● Average IEA crude oil import price by scenario (annual data)

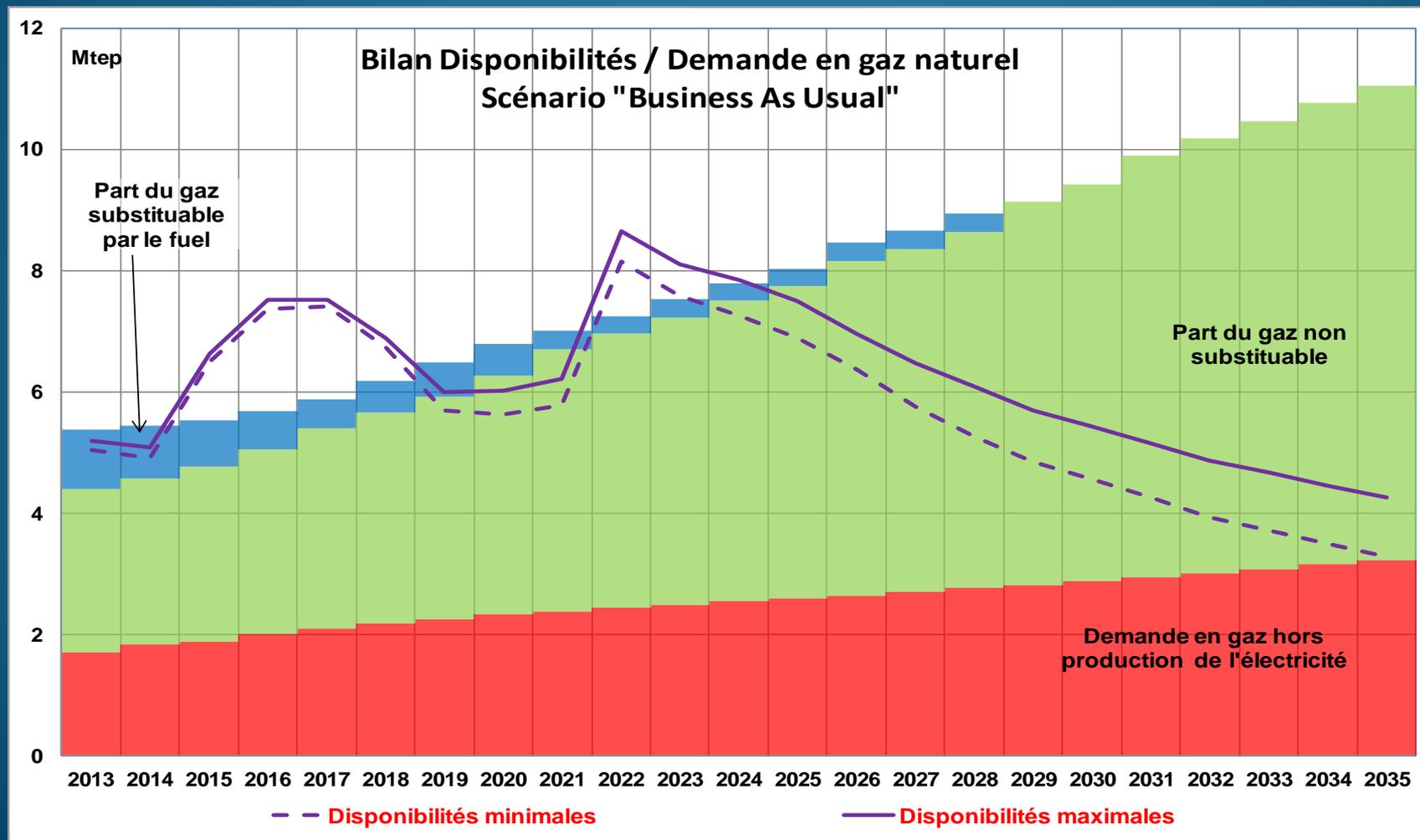


# Secteur de l'électricité en Tunisie

- Plus de 95% de de l'électricité produite provient du gaz naturel.
- La consommation de combustible pour la production d'électricité représente plus du 1/3 de la consommation d'énergie primaire

# Secteur de l'électricité en Tunisie

- Les disponibilités de gaz national sont assez limitées, de même que le nombre de sources.

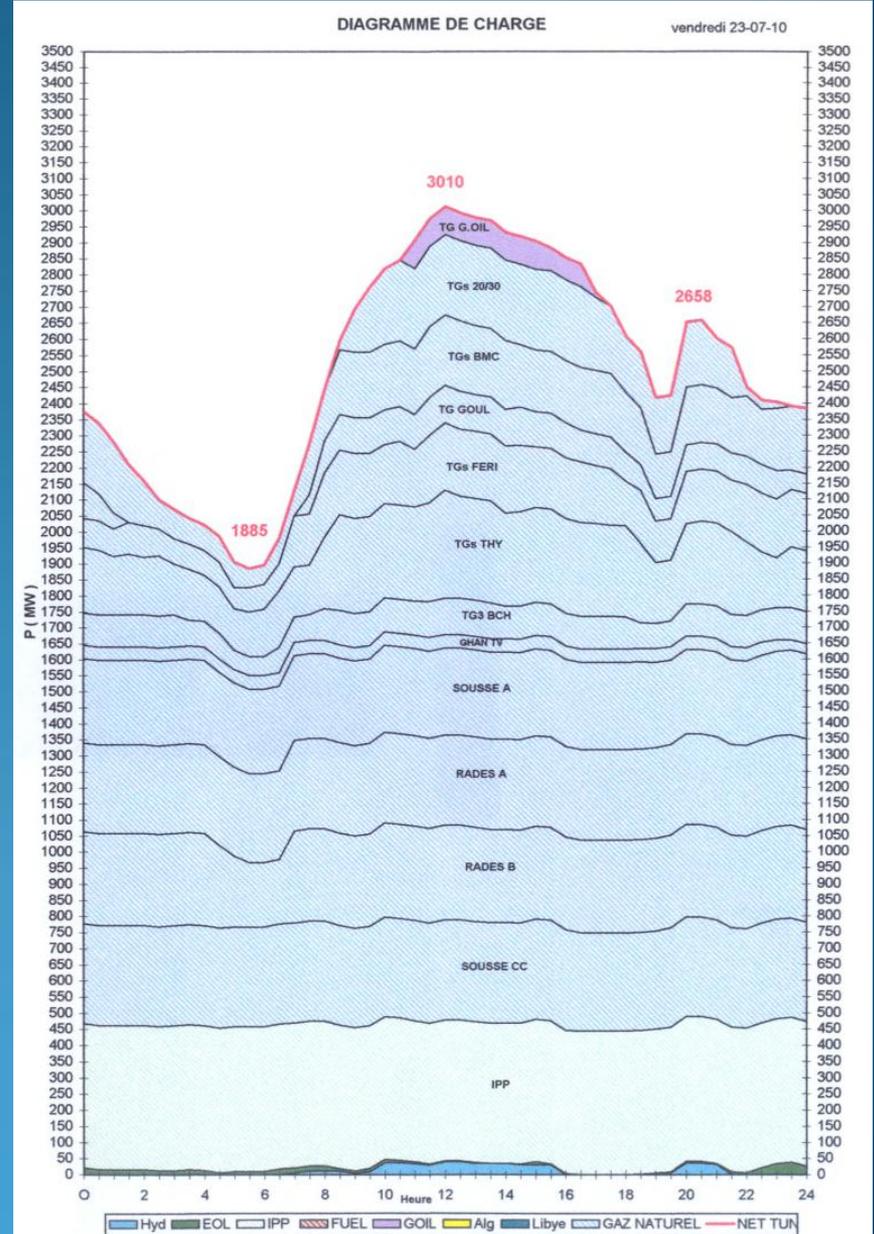


# Secteur de l'électricité en Tunisie

- Taux élevé d'évolution de la demande en pointe:  
6 % par an

Evolution importante de la demande en climatisation

# Courbe de charge pointe estivale



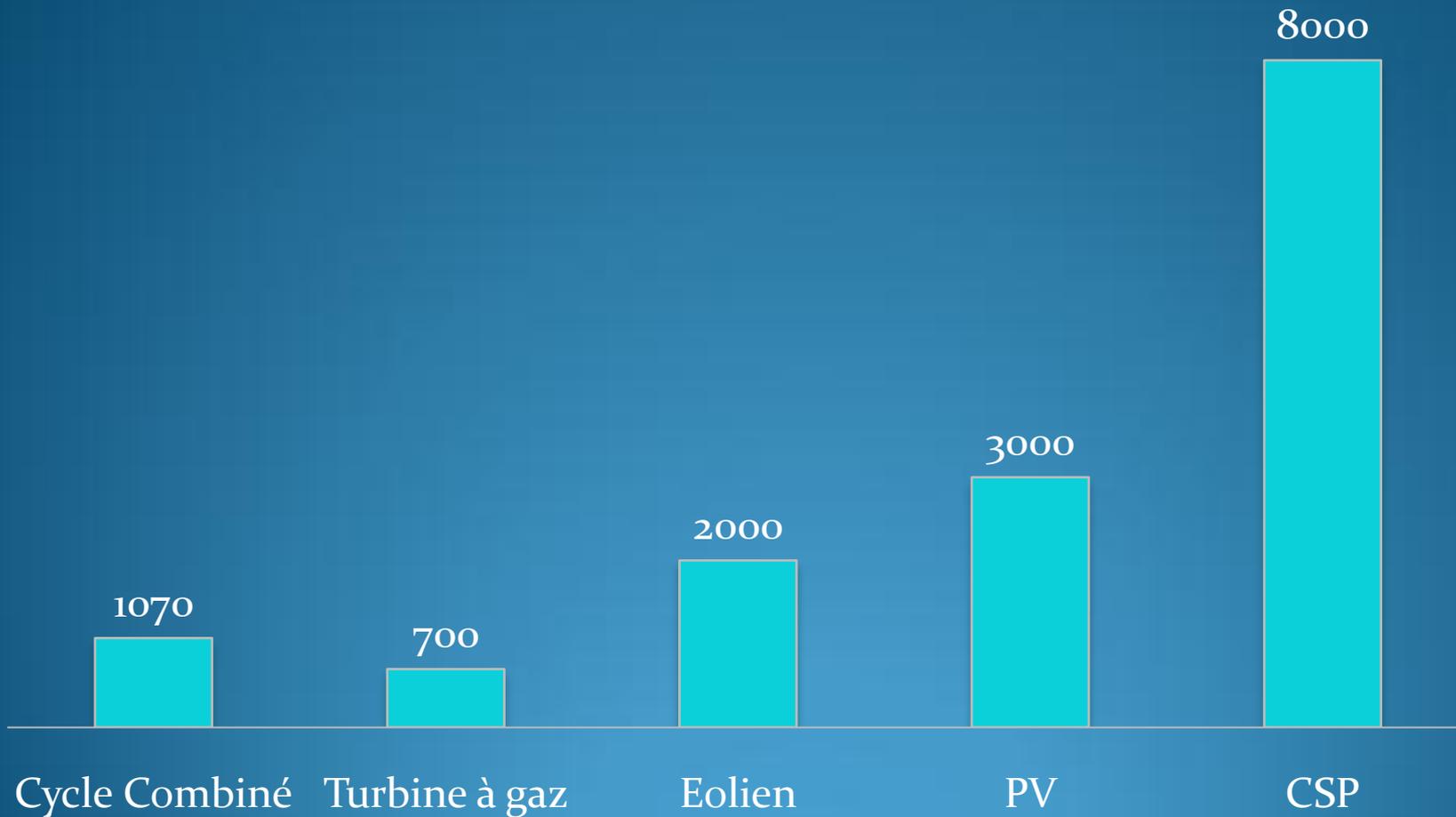
# Développement des ENR au niveau national

- Orientations stratégiques:
  - - Diversification des combustibles et des moyens de production
  - - Développement des énergies renouvelables

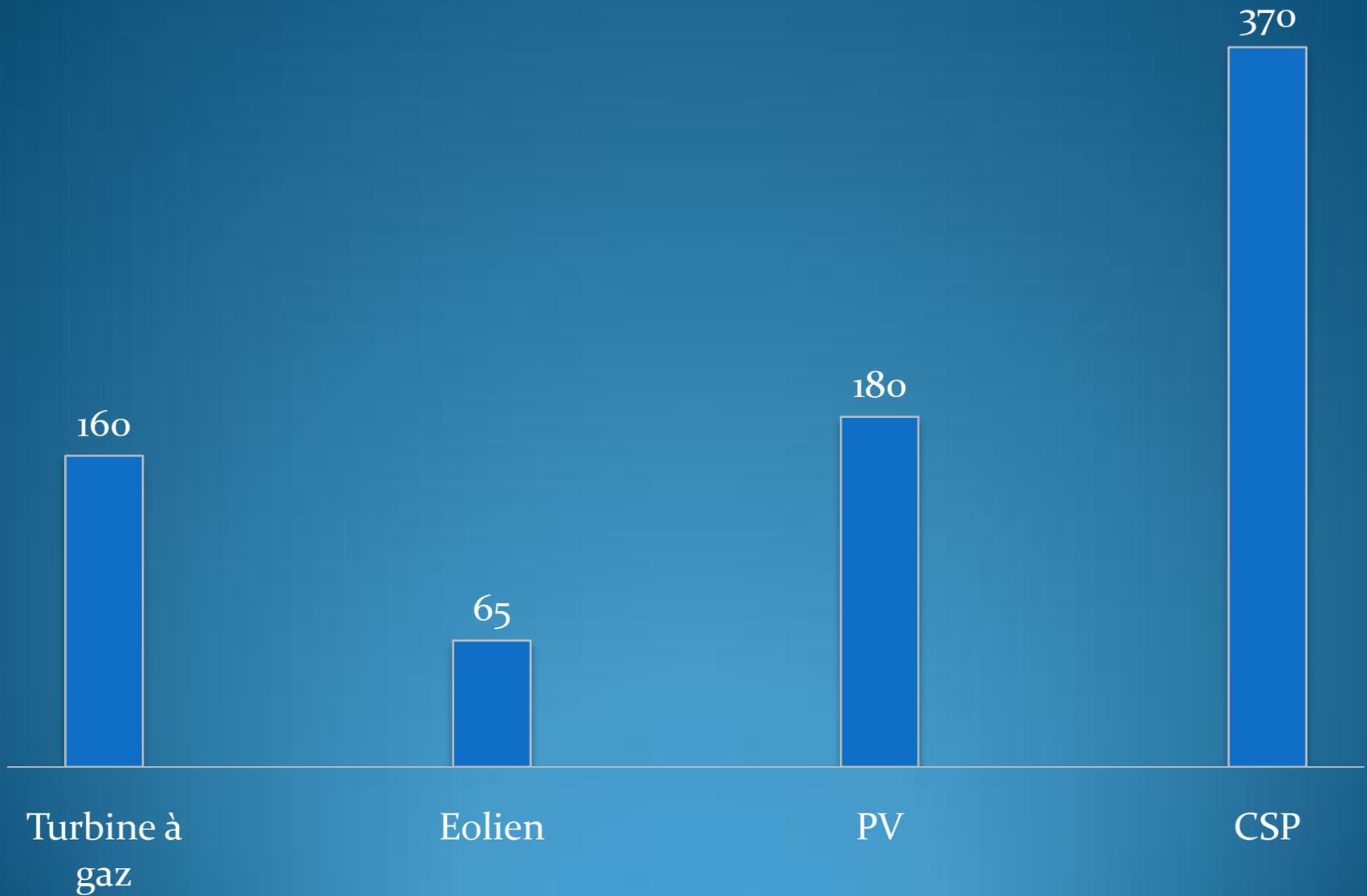
# Axes stratégiques de la STEG

- Le développement des ENR se concentre sur deux filières: l'éolien et le solaire

## Cout du kW des différentes filières (\$/kW)



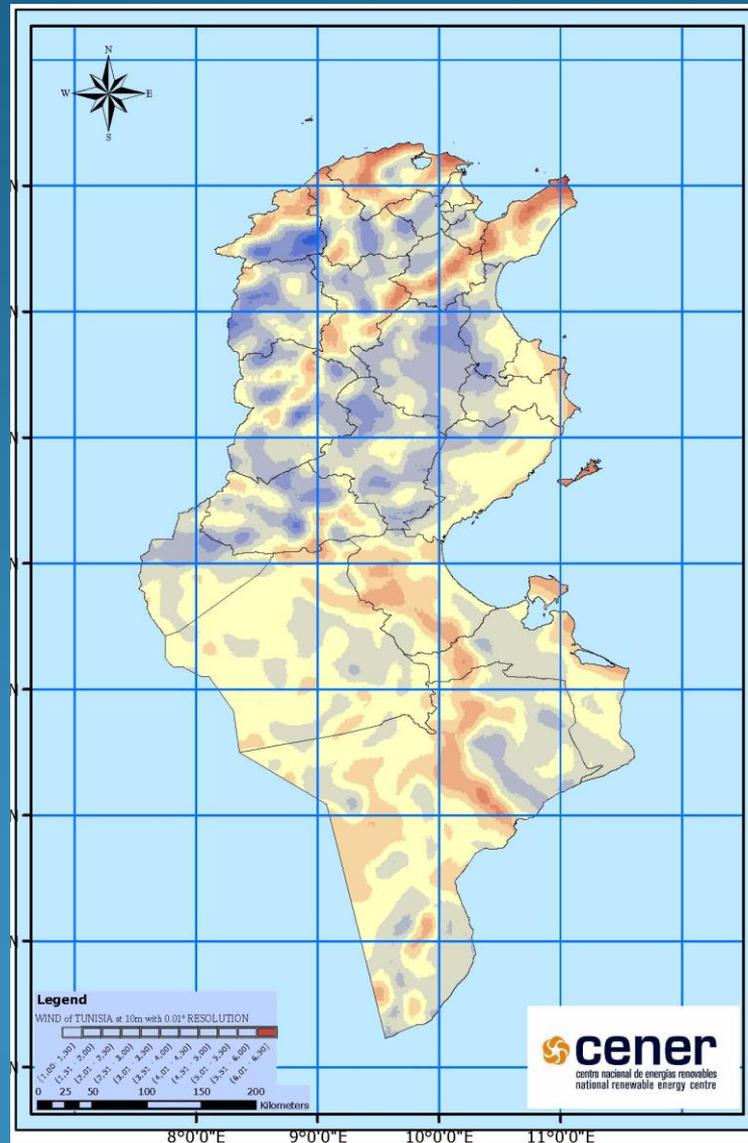
## Prix des différentes filières (\$/MWh)



# Atouts de l'éolien

- Filière prouvée et rentable
- Possibilité pour la STEG d'accéder à des lignes de crédits concessionnels

# Atlas de l'éolien en Tunisie



# Limites de développement de l'éolien

- ✓ Puissance limitée du parc électrique en creux de nuit
- ✓ Echanges limités aux interconnexions avec l'Algérie
- ✓ Pas encore d'interconnexion avec l'Italie
- ✓ Faible capacité hydroélectrique installée
- ✓ Charge limitée en période de creux



Taux d'intégration au réseau limité

# Taux d'intégration de l'éolien à court terme

Deux études ont été menées par CESI concernant l'intégration de l'éolien au réseau, la première en 2005 et la deuxième en 2010 dans le cadre du projet ELMED.

# Taux d'intégration de l'éolien à l'horizon 2016

Suivant la première étude menée à l'horizon 2007/2011 (pas encore d'interconnexion entre la Tunisie et l'Italie) : le taux maximal d'intégration à l'horizon 2011 est de l'ordre de 185 MW.

# Taux d'intégration de l'éolien à l'horizon 2016

Suivant la 2ème étude menée dans le cadre du projet Elmed, et sur la base d'exportations d'électricité de 950 MW en creux de nuit, la puissance maximale d'éolien qu'il serait possible d'intégrer serait au meilleur des cas de l'ordre de 660 MW (soit, une puissance additionnelle de l'ordre de 400 MW éolien à l'horizon 2016)

# Taux d'intégration de l'éolien à l'horizon 2016

La STEG a entrepris les démarches auprès de CESI afin de mettre à jour l'étude.

Toutefois, nous pouvons dès à présent prévoir que les possibilités seraient encore plus limitées sans Elmed

(soit, une puissance additionnelle ne dépassant pas 200 à 300 MW à l'horizon 2016, ce qui représente environ 50 MW/an)

# Intégration de l'éolien au réseau

Etude de faisabilité en vue de la réalisation d'une centrale de pompage turbinage de 300 MW à Oued el Maleh au Nord.

Toutefois, le coût d'investissement de cet équipement demeure un élément important dans la prise de décision.



# Energie Solaire

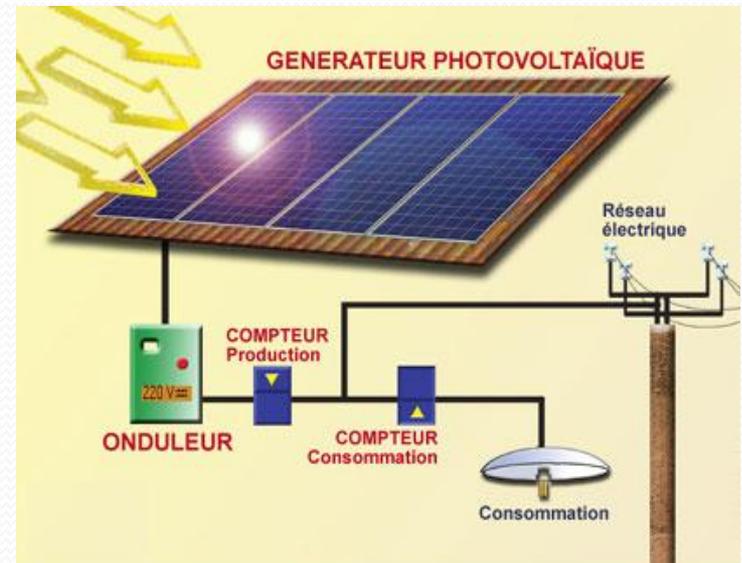
Energie solaire  
thermodynamique

Production de la vapeur par  
concentration du rayonnement  
solaire.



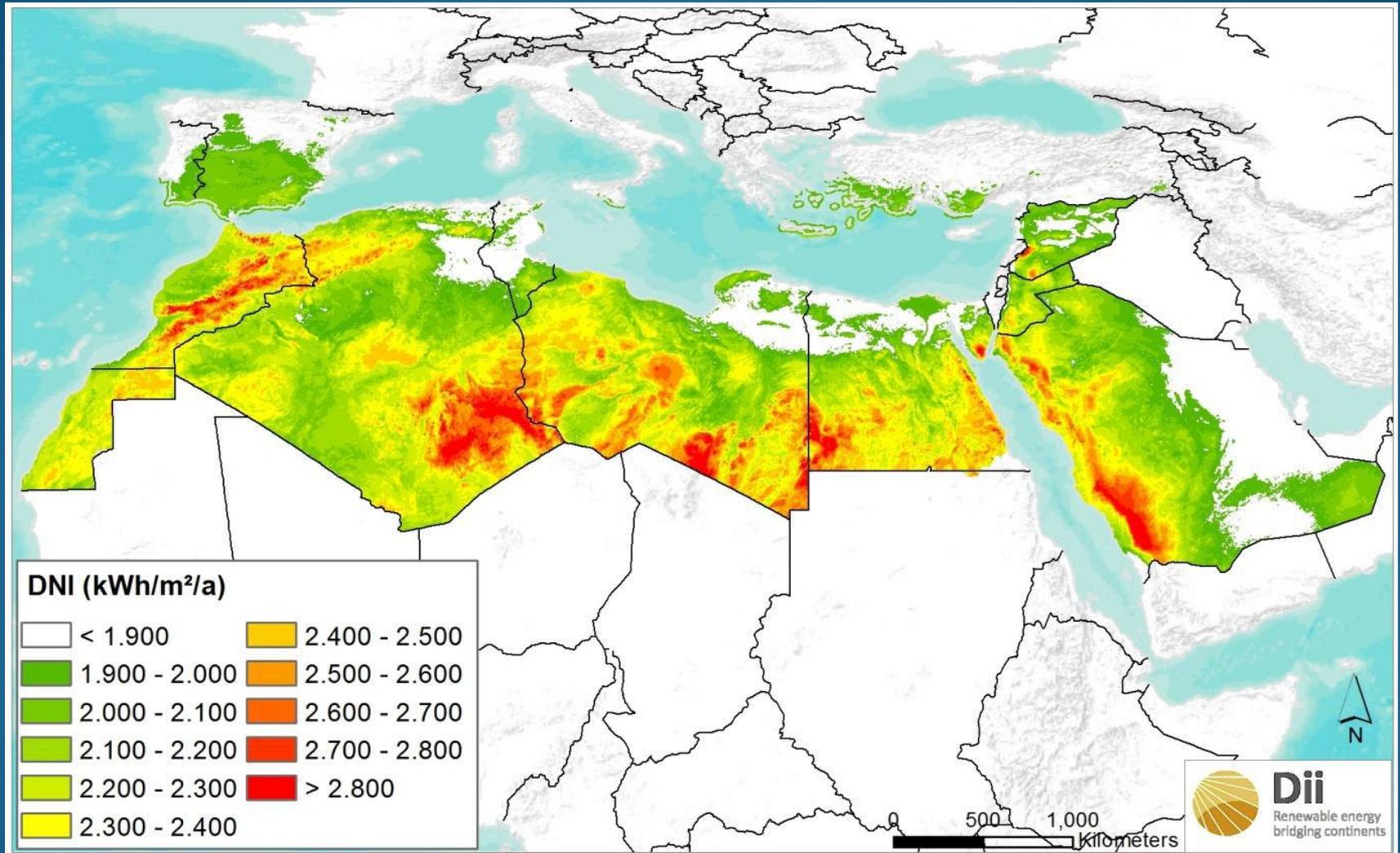
Énergie solaire  
photovoltaïque

Conversion directe de la  
lumière du soleil en électricité.



# Thermosolaire

# Potentiel solaire CSP :



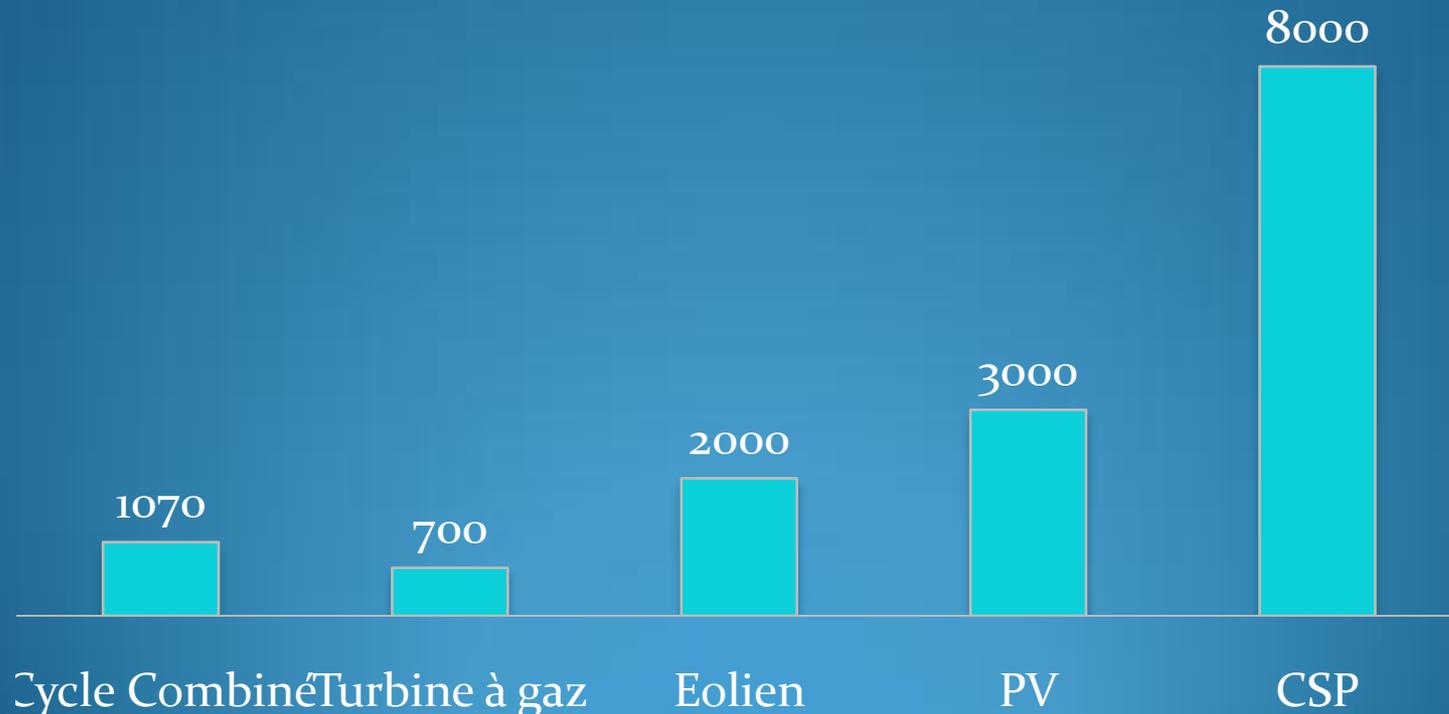
# Potentiel thermo-solaire

Le potentiel solaire thermique réalisable reste encore à évaluer avec précision.

# Limites de l'électrosolaire

- ✓ Coûts élevés, à l'heure actuelle, notamment pour le PV
- ✓ Thermo-solaire avec stockage: filière d'avenir

Cout du kW des différentes filières (\$/kW)



# Potentiel thermo-solaire

**Nombreux critères à considérer pour le choix du site :**

- ✓ **Superficie,**
- ✓ **Pente du terrain,**
- ✓ **Vitesse du vent,**
- ✓ **Proximité au réseau électrique et gazier, Disponibilité de l'eau,**
- ✓ **Proximité de la mer en cas de dessalement.**
- ✓ **Site à l'abri des tempêtes de sables...**

# Potentiel solaire thermodynamique

**Bref, la prise en compte de l'ensemble de ces critères est de nature à réduire considérablement le potentiel réalisable !**

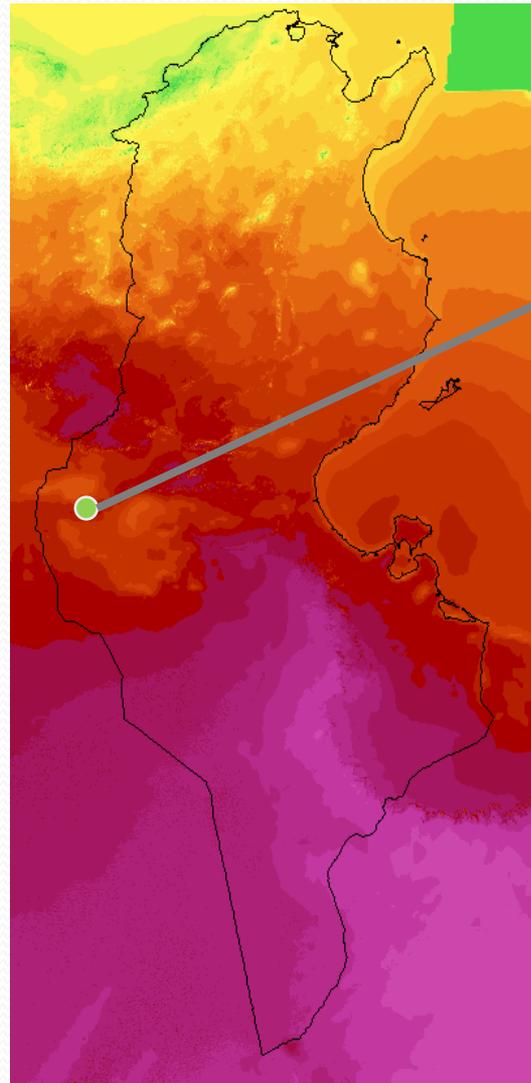
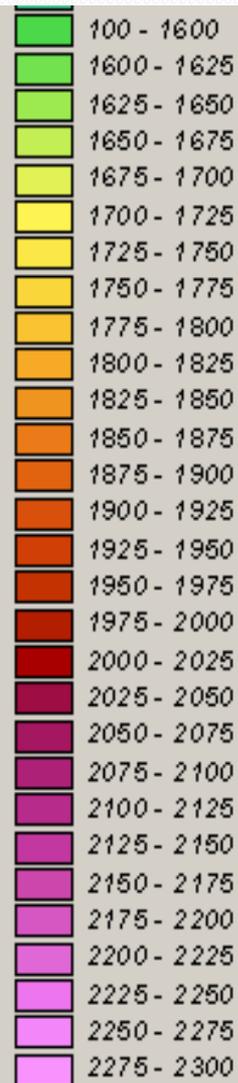
# Approche de la STEG pour le développement de l'électro-solaire

En attendant que la filière devienne rentable:

- ✓ Commencer petit
- ✓ Essayer diverses technologies

# ENERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

## Centrale PV 10 MW Tozeur



**29 Sites prospectés**  
**7 Sites évalués**

**Site Tozeur GHI = 2006kWh/m<sup>2</sup>.an**



# PRINCIPAUX RÉSULTATS DE L'ÉTUDE DE FAISABILITÉ DE LA CENTRALE CSP 50 MW AKARIT GABÈS

---

- ✚ Technologie: Cylindro-parabolique 4h de stockage.
- ✚ Appoint Gaz : 5%.
- ✚ Superficie : 200 ha.
- ✚ Productible : **132 GWh.**
- ✚ Coût d'investissement : **643 MDT.**
- ✚ Coût d'exploitation et maintenance : **9.5 MDT/an.**
- ✚ Taux d'intégration industrielle : **25 %.**
- ✚ Consommation d'eau déminéralisée: 40000 m<sup>3</sup>/an.
- ✚ Prix de revient : **395 mill/kWh**

# Solaire PV

# DÉVELOPPEMENT DES ERS A LA STEG

## Opportunités offertes par filière

### Le solaire photovoltaïque :

- ✚ En plein développement.
- ✚ Amélioration du rendement et de la technologie.
- ✚ Baisse relative du coût d'investissement : 3 000 \$/ kWc.
- ✚ Peut contribuer à écrêter la pointe jour en été.
- ✚ Expérience réussie en Tunisie avec le programme PROSOL ELEC.

## Réalisations STEG

### Installation Solaire PV

- Toit solaire de l'agence commerciale : Mai 2011

P = 22 kW,

Production cumulée = 29 MWh (Mars 2012)

- Toit solaire de Metline : Fin 2011

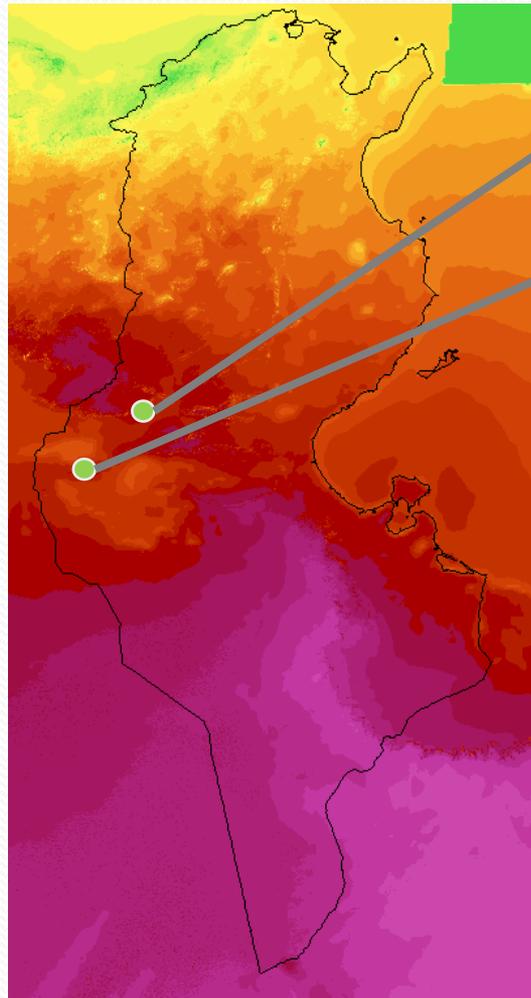
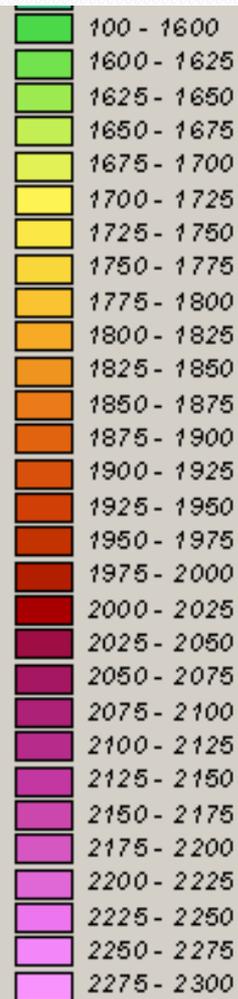
P = 13 kW



# ENERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

## Projets en cours de développement par la STEG

### Centrale PV de 10 MW



Site Cheria GHI = 1973 kWh/m<sup>2</sup>.an

Site Tozeur GHI = 2006kWh/m<sup>2</sup>.an



# ENERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

## Projets en cours de développement par la STEG

### Centrale PV de 10 MW

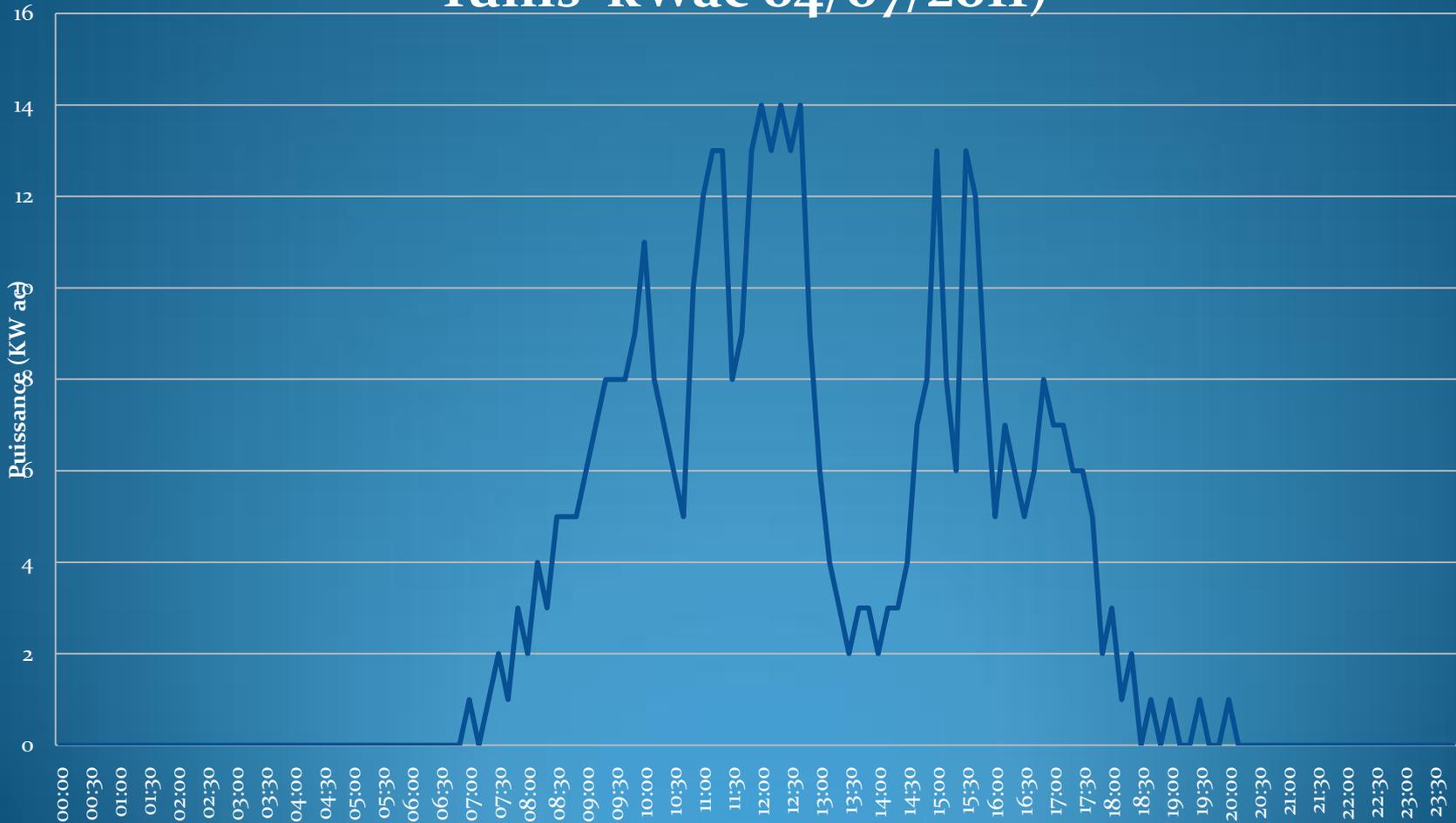
- ✚ Etude de faisabilité en cours de finalisation
- ✚ Choix du site de Tozeur
- ✚ Technologie: PV Poly-cristallin.
- ✚ Superficie : 200 000 m<sup>2</sup>.
- ✚ Productible : **17 GWh.**
- ✚ Coût d'investissement : **47 MDT.**
- ✚ Coût d'exploitation et maintenance : **0.7 MDT/an.**
- ✚ Prix de revient (avec financement proposé et sans fond propre) : **216 mill/kWh..**
- ✚ Taux d'intégration industriel : **19 %.**

# Limites du photovoltaïque

- Cout encore relativement élevé
- Energie délivrée nulle le soir
- Intermittence

# Intermittence

Courbe de Puissance agence commerciale de  
Tunis kWac 04/07/2011)



# Programme à l'horizon 2020

# DÉVELOPPEMENT DES ERS A LA STEG

## Programme préliminaire

Filières/Sites	2016	2020
Eolien		env.150 à 200 MW
PV		
- Centrale PV	10 MW	50 MW
- Toits solaires	13 MW	
CSP	50 MW	
Hydraulique (STEP)		400 MW

# Conclusions

Compte tenu de la hausse des prix des combustibles, de la dépendance de notre secteur électrique par rapport aux combustibles fossiles, et des taux élevés d'évolution de la demande, le développement des énergies renouvelables constitue un axe stratégique pour la STEG.

# Conclusions

La possibilité de bénéficier des lignes de crédits préférentiels fait de la STEG un opérateur privilégié pour la réalisation de ces projets.

# Conclusions

Le développement des ENR reste toutefois tributaire de:

- ✓ la rentabilité de ces filières,
- ✓ la disponibilité des sites
- ✓ l'intégration de ces filières au réseau.

# Conclusions

Stratégie de la STEG à moyen terme:

se concentrer sur l'éolien dans la limite de son intégration au réseau, tout en engageant des projets pilotes PV et thermo-solaires en attendant que cette application devienne rentable.

# Conclusions

- ✓ Potentiel assez limité du pays en éolien et solaire
- ✓ Limites d'intégration au réseau
- ✓ Limites des ressources en gaz naturel,



La priorité dans le développement des ENR devrait être donnée à la satisfaction de la demande locale d'électricité.

# Conclusions

En attendant le développement d'alternatives ENR aptes à répondre à la satisfaction de la demande en base, la diversification des combustibles demeurera l'axe stratégique majeur eu égard à l'indépendance énergétique de notre secteur électrique.

*Merci de votre attention*