

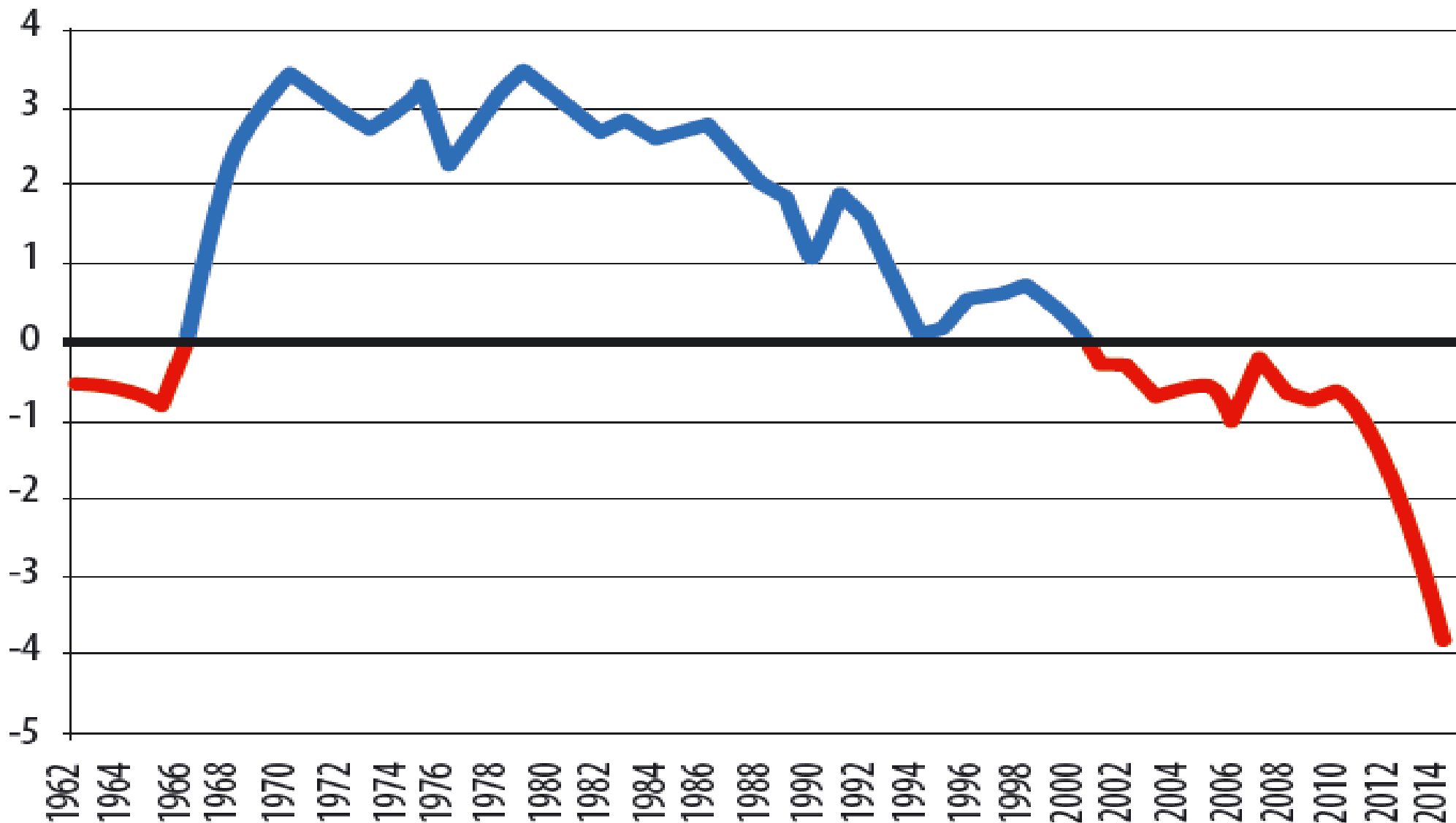
LE POWER_TO_X :

Une technologie pour soutenir la Transition
énergétique en Tunisie

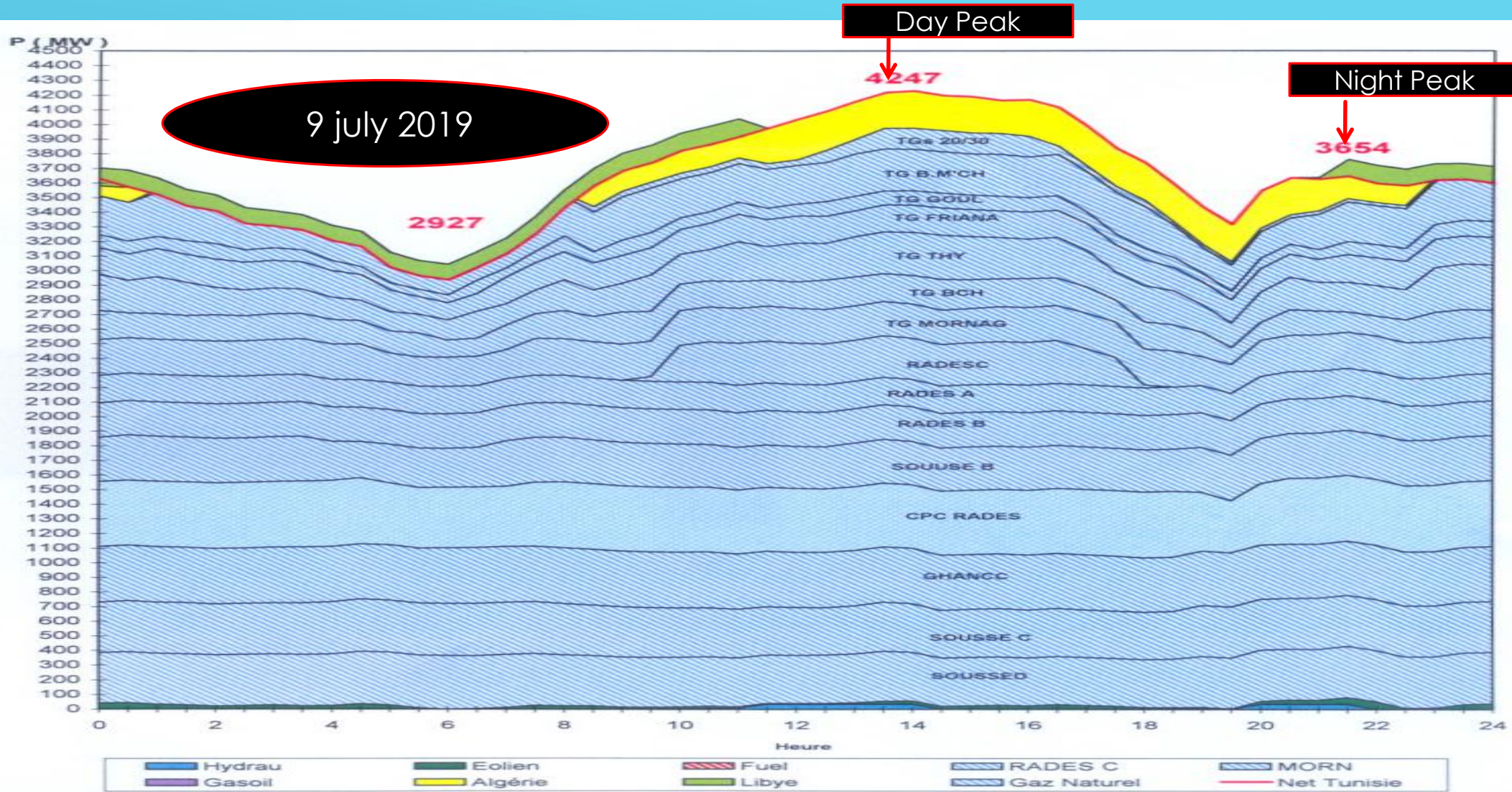
ANME

Webinar

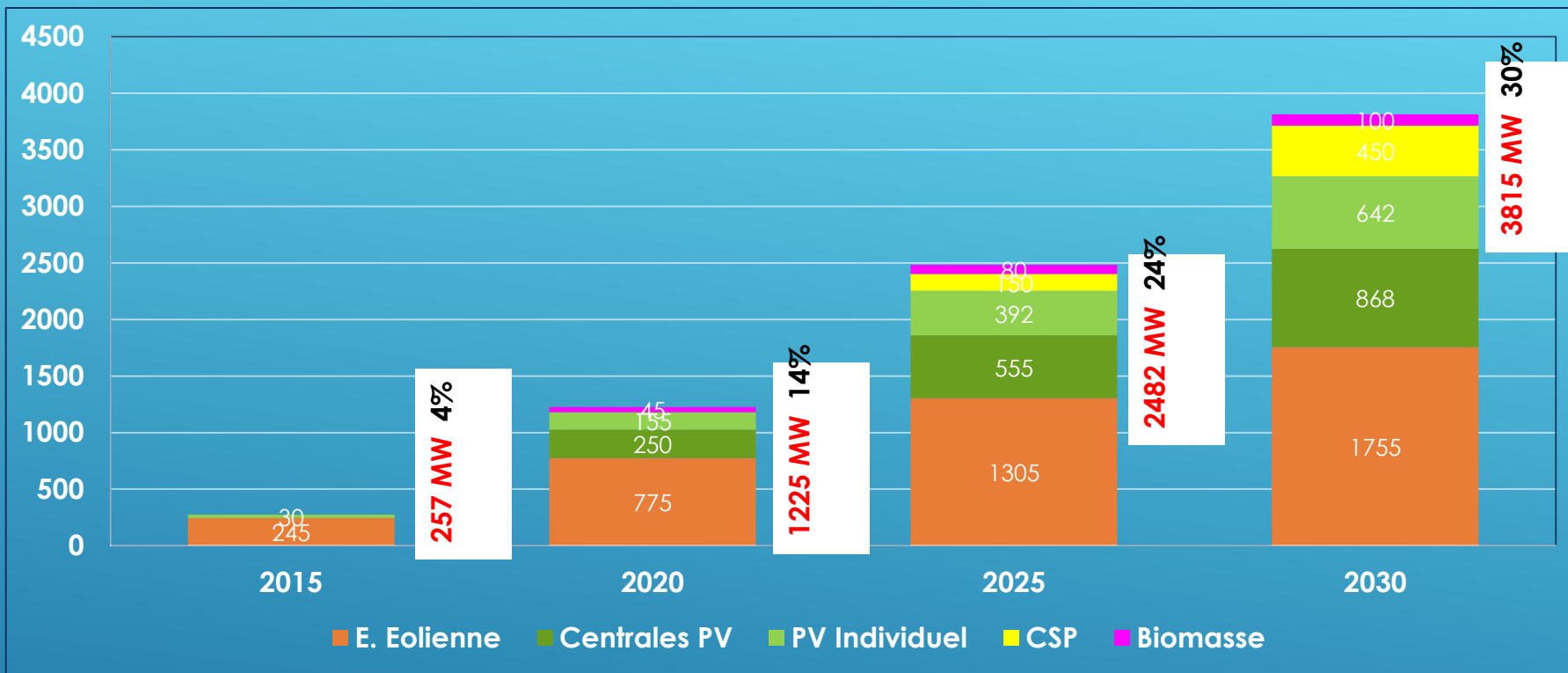
chiheb bouden : 24/9/2020



UNE BALANCE ÉNERGÉTIQUE NETTEMENT DÉFICITAIRE

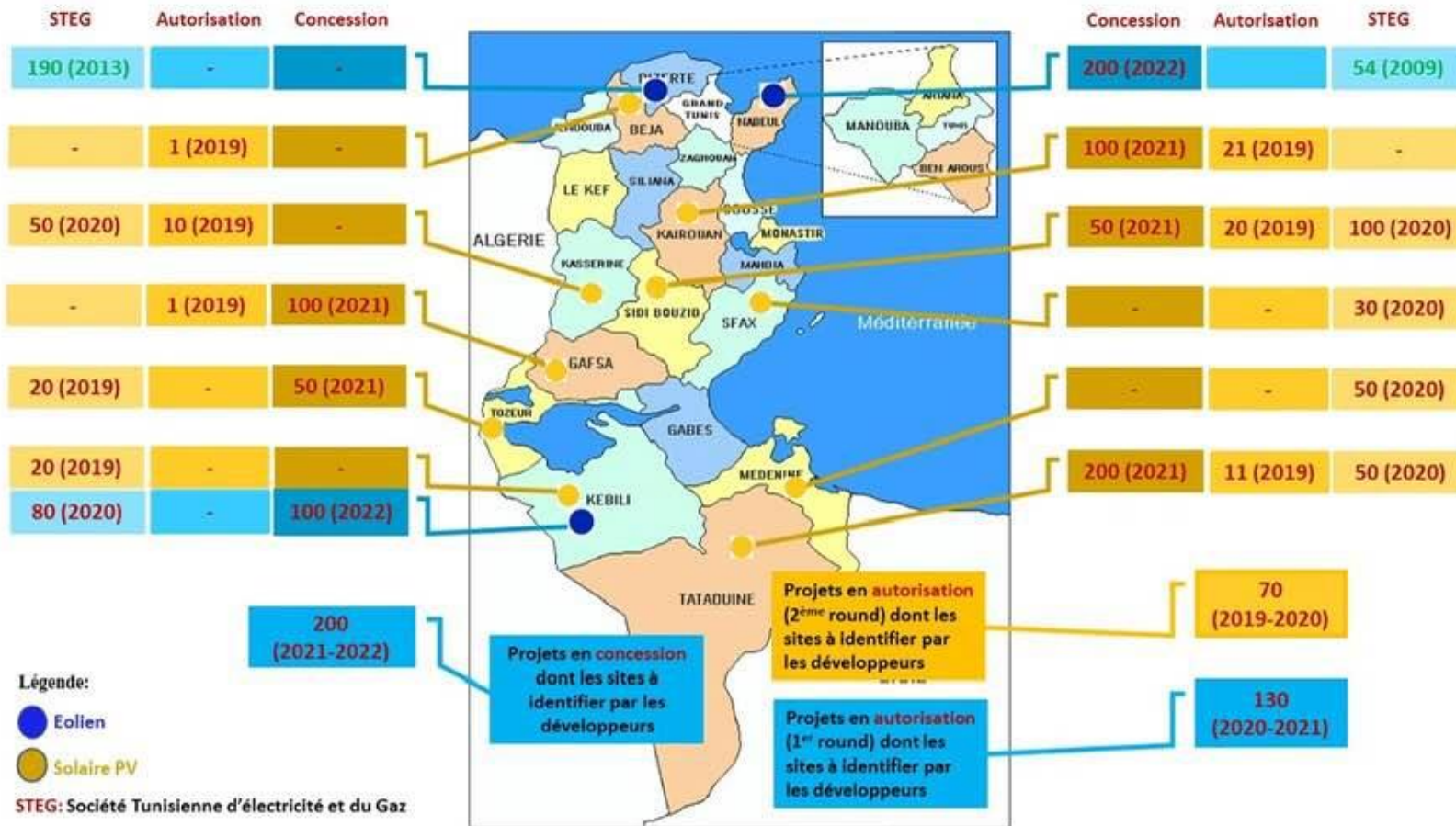


LA COURBE DE CHARGE (JOUR DE POINTE ÉTÉ 2019)



UN PLAN SOLAIRE AMBITIEUX

(30% D'ÉLECTRICITÉ RENOUVELABLE EN 2030)



PROJETS PLANIFIÉS (COUVRANT TOUT LE TERRITOIRE)

- ▶ Couvrir les besoins lorsque l'ensoleillement n'est pas suffisant
- ▶ Absorber la surproduction lorsqu'elle existe (assurer l'équilibre entre l'offre et la demande)
- ▶ Sécuriser l'approvisionnement continu et régulier

BESOIN D'UN SYSTÈME DE STOCKAGE



- ▶ 1 litre H₂ = 3 Wh
- ▶ H Liquide: (-253°C) : 71.2 kg/m³
- ▶ → Besoin d'un système de transport ad-hoc
- ▶ → Beaucoup de risques (car explosif)
- ▶ → beaucoup de pertes pour le cas du H Liquide

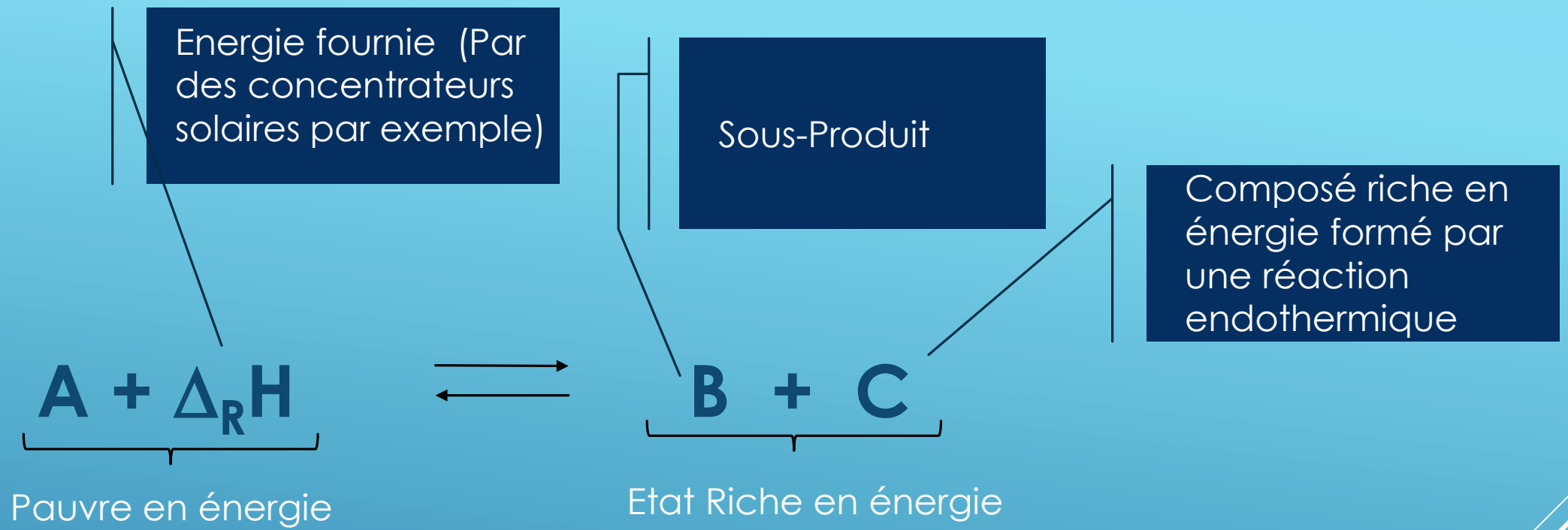
L'HYDROGÈNE: VÉHICULE POUR LE
STOCKAGE ET LE TRANSPORT DE L'ÉNERGIE

- ▶ **Transport à travers des matériaux ad-hoc:**
 - ▶ **Liquid Organic Hydrogen Carriers (LOHC)**

Composants pouvant être chargés avec des quantités considérables d'hydrogène.

→ similitudes avec le transport et la distribution des hydrocarbures (Tankers, Navires, Citernes, Stations services)
 - ▶ **Solid Carrier: dans des composés de métaux: Alcalino-terreux (Magnésium / calcium)**

ALTERNATIVES AU TRANSPORT DE
L'HYDROGÈNE PUR



SOLID CARRIERS

- ▶ **Deux techniques:**
 - ▶ **Cycles Réversibles**
 - ▶ **Procédé Irréversible**

LIQUID ORGANIC HYDROGEN CARRIER

A decorative graphic consisting of several parallel white lines of varying lengths, slanted upwards from left to right, located in the bottom right corner of the slide.

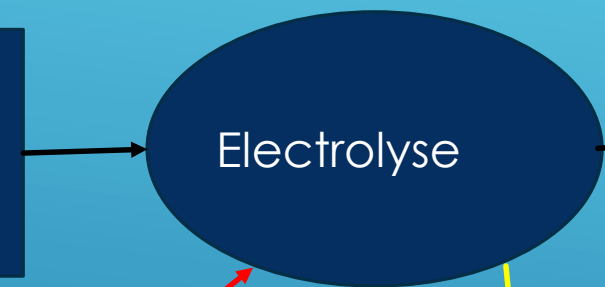
X ?

Ethylène	1,3,5,7 Cyclo-octatetraene
1,3 Butadiène	Furane
Benzène	4H-Pyran
Toluène	Thiophène
Styrène	Pyrrole
Phénol	N-éthyl-Carbazole
Naphtalène	1,2-dihydro 1,2 azaborine
Anthracène	1-ter butyl-2-hydro 1,2 Azaborine

.....autres

POWER_TO-**X**

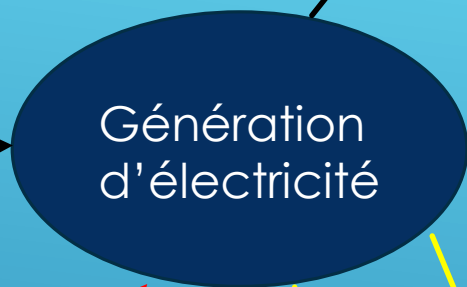
Production électrique variable



H_2



C_xH_y



Consommation d'énergie

PROCÉDÉ IRRÉVERSIBLE





Fuel / Combustible
(méthane, méthanol,
Alcanes ...)



Combustion

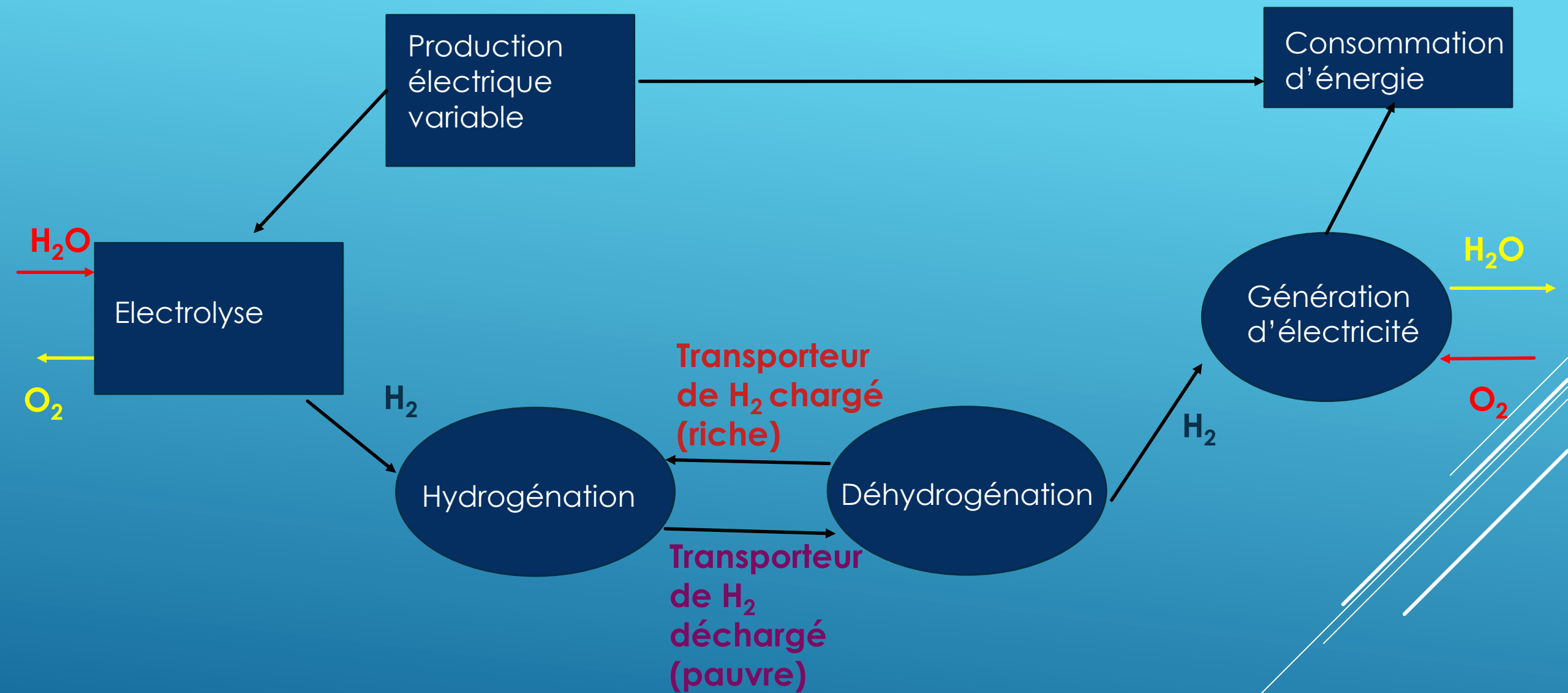


Moteur /
Cycle d'Otto

12 kWh/kg

8.8 kWh/l

PROCÉDÉ IRRÉVERSIBLE



CYCLE RÉVERSIBLE

Dé-hydrogénation:

Endothermique: 53kJ/mole H₂

Restitution de 6 Moles de H₂

Paramètres de Réaction: 1 Bar, 230°C

Perhydro
N-EthylCarbazole

N-EthylCarbazole

Transporteur
chargé (Riche)


Hydrogénation:

Exothermique: 53kJ/mole H₂


Consommation de 6 Moles de H₂

Paramètres de Réaction: 70 Bar, 150°C

Transporteur
déchargé (Pauvre)

- ▶ **Les transporteurs Organiques Liquides (LOHC) peuvent être chargés ou déchargés avec des quantités considérables d'hydrogène**
 - ▶ **Similitude avec les Hydrocarbures conventionnels pour le le transport et la distribution (Tankers / Navires / Citernes / Pipe-lines / Stations services)**
- 
- A decorative graphic consisting of several parallel white lines of varying lengths, slanted upwards from left to right, located in the bottom right corner of the slide.

- ▶ **La déhydrogénation consomme de l'énergie**
 - ▶ **Hydrogène utilisé dans des Piles à combustible**
 - ▶ **1.9 kWh/kg**
 - ▶ **1.5 kWh/l**

 - ▶ **Pas d'émissions de No_x ou CO**
- 
- The image features a solid blue background. In the bottom right corner, there are several white, parallel diagonal lines that create a sense of motion or a modern design element.



Production de H₂ à partir de l'excédent d'électricité Renouvelable par Electrolyse



Utilisation de l'Hydrogène:
Pile à combustible
Ou
Moteur

H₂O

LOHC Pauvre en H₂

Hydrogénation

LOHC Riche en H₂

Dé-hydrogénation



Stockage



Transport



Distribution

H₂

H₂



- ▶ **Le procédé est déjà commercialisable (démonstration / échelle réelle)**
- ▶ **Besoins de développement / Recherche:**
 - ▶ Synthèse
 - ▶ Régénération
 - ▶ Stabilité à long termes
 - ▶ Toxicité
 - ▶ Liquéfaction

REMARQUES

- **Université Publique: 250 900 étudiants (dont 16 885 en cotutelle)**

- ▶ 13 Universités
- ▶ 204 Institutions
- ▶ 38 centres de recherche
- ▶ 10 Technoparcs
- ▶ 316 Laboratoires
- ▶ 327 UR

40% des étudiants en STEM

- **Universités Privées: 31 304 étudiants (11 %)**

- ▶ 68 institutions

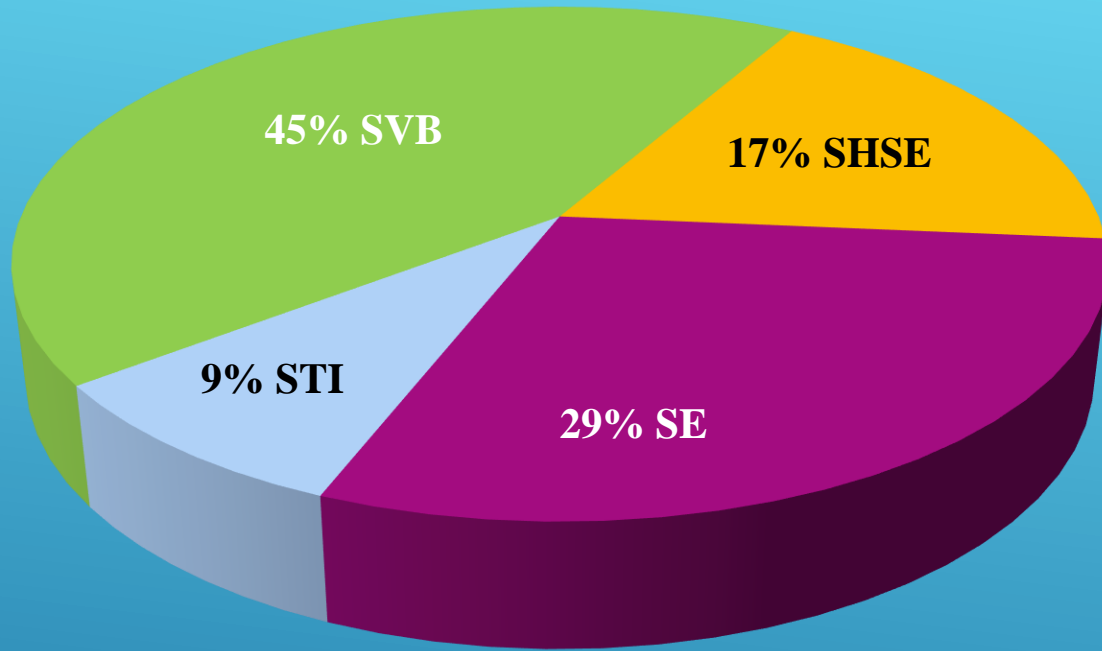
ETUDIANTS

- ▶ 22 840 Enseignants dont 14 454 Enseignants-chercheurs
- ▶ 2531 A + 10119 B

- ▶ Taux d'encadrement: 10.6 étudiant / Enseignant
- ▶ Taux d'encadrement par des EC: 19.2 étudiants/ Enseignant

- ▶ **LR**: 330 dont 16 dans le domaine de l'Energie
- ▶ **UR**: 300 dont 17 dans le domaine de l'énergie

ENCADREMENT



- 330 Laboratoires (dont 2 Internationaux)
- 300 Unités de recherche
- 66 Unités de Services Communs

- 37 Ecoles Doctorales
- 40 Centres de Recherche

STI: Sciences et Techniques de l'Ingénieur

SHSE: Sciences Humaines Sociales et Economiques

SBV: Sciences de la Vie et BioSciences

SE: Sciences exactes

LABORATOIRES DE RECHERCHE PAR DISCIPLINE

- ▶ 6 Technopôles: Bizerte; Monastir, Sousse, Sfax, Sidi Thabet, Borj Cedria
 - ▶ Centres de Recherche
 - ▶ Institutions de Formation
 - ▶ Pépinières d'Entreprises
 - ▶ Bureaux de Transferts de Technologie
 - ▶ Centre de Ressources technologiques
 - ▶ Parc Technologique
- ▶ Investissement : 80 Millions Euros

LES TECHNOPOLES

- ▶ Budget: 1481 Millions de TND (2018)
 - = 5.1% du Budget de l'état
 - = 1.4% du PIB
- ▶ Répartition du Budget:
 - ▶ 67 % Enseignement Supérieur
 - ▶ 7 % Recherche Scientifique
 - ▶ 23 % œuvres Universitaires
 - ▶ 3 % Structures de Gouvernance

BUDGET (ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET RECHERCHE SCIENTIFIQUE)

- ▶ **Un Potentiel Important:**
 - ▶ Stockage de l'énergie
 - ▶ Production d'Electricité
 - ▶ Usages Industriels

- ▶ **Une Opportunité pour la production d'une source d'énergie Alternative (consommation locale / Export)**

- ▶ **Un Potentiel de recherche , Développement & Innovation Importants:**
 - ▶ Existence de Laboratoires qualifiés
 - ▶ Potentiel en chercheurs et étudiants de bon niveau

CONCLUSION