



## Quelques exemples de STEP développées dans le monde

*Points communs et particularités....*

Thibaut Ulrich, Focus Hydro – mars 2023

# Des contextes différents mais partout plus d'ENR

Maroc, Egypte, Cap Vert, Israël – des objectifs analogues

## Maroc: Objectif 52% d'ENR en 2030: hydro + 4 GW éolien et solaire

- **1998 Etude de pré-faisabilité de la STEP d'Afourer** par EDF (mise en service en 2005): 450 MW, 2250 MWh
  - **Alternative aux turbines à gaz pour fournir la puissance aux heures de pointe**
  - Un cycle journalier: turbinage en heures de pointe (18h-23h) et pompage en heures creuses (2h-9h)
- **2010 Cahier des charges construction de la STEP d'Abdelmoumen** 350 MW, 1750 MWh
  - **Stockage et équilibrage du réseau en compensation des parc éoliens au sud du pays**
  - Chaque jour 4 arrêts + 4 démarrages pompe, et 6 arrêts + 6 démarrages turbine

## Cap Vert: Anticiper l'objectif de 50% ENR en 2030

- **Initialement 100% diesel**, cher et polluant
- 15% ENR en 2018, **20% ENR en 2022** (4 parc éoliens, total 25,5 MW)
- Projets de stockage (batteries et STEP) et Smart Grid



## Egypte: Objectif 42% ENR en 2035

- **Actuellement 90,6 % combustibles fossiles** (gaz 77,3 % , pétrole 13,3 %), 6,8 % hydro, 1,9 % éolien et 0,8 % solaire.

Emirats Arabes Unis: **99% gaz naturel et 1% diesel en 2010**, **Objectif 44% ENR en 2050**

Israël: **10% ENR en 2020** prévision **30% en 2030**

# Des contextes différents mais partout plus d'ENR

Australie / Queensland: Objectifs ambitieux pour 2050

## Australie

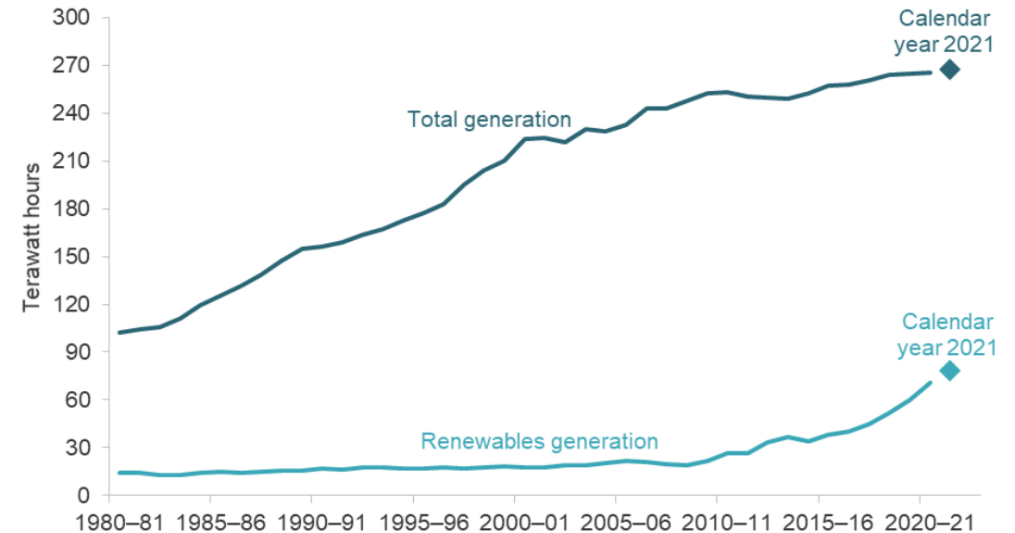
- Production 266 TWh en 2021, stable, **dont 71% d'origine fossile** (51% charbon, 18% gaz et 2% fuel) – 80% énergie fossile au début du siècle
- Energies renouvelables passées de 24% en 2020 à 29% en 2021 (12% solaire, 10% éolien, 6% hydro).
- **Victoria Big Battery 300MW/450MWh (1,5 h)**

## Queensland renewable energy target (QRET)

- QLD = 25% de la consommation de l'Australie
- **90% énergie fossile en 2021** (35% charbon, 35% fuel, 20% gaz)
- **Objectif 50% ENR en 2030** et réduction de 30% des émissions de GES
- **Objectif Zéro émission GES en 2050**



Victoria Big Battery



Production électrique et part des ENR en Australie

<https://www.energy.gov.au/data/australian-energy-mix-state-and-territory-2020-21>

# EXEMPLES DE PROJETS DE STEP

Parmi les projets en cours d'étude ou de réalisation

Nom du projet	Pays	Type	Etudes	Puissance (MW)
	Cap Vert - Santiago	STEP	Faisabilité (COBA/ARTELIA)	20
Hatta	UAE - Dubai	STEP	APD (EDF) > EXE (ARTELIA)	250
Gilboa	Israël	STEP	EDF - ARTELIA (tunnels)	300
Abdelmoumen	Maroc	STEP	Faisabilité (ISL) > APD (TRACTEBEL) > PRO/EXE (VCGP/ARTELIA)	350
	Tunisie	STEP	Etudes de faisabilité, APD et variantes (ISL, TRACTEBEL, FICHTNER, TEPSCO) > Assistance à AFD (ARTELIA)	374
<i>Grand'Maison</i>	<i>France</i>	<i>STEP</i>	<i>Mise en service 1987</i>	<i>1800</i>
Attaqa	Egypte	STEP	Faisabilité (SWECO) > Tender (SINOHYDRO) / AMO (ARTELIA/AFRY)	2400
	Australie - QLD	STEP	Concept design (SMEC) > pré-faisabilité (HATCH/ARTELIA)	3500

- **Gammes de puissance : 200-400 MW et 2000-4000 MW**
- **« petite STEP » au Cap Vert 20 MW**
- *Grand'Maison 1987: projet proche Grenoble comme point de comparaison*
- **Projets complexes et de longue haleine....Plusieurs ingénieurs conseil se succèdent ou s'associent**

# CHEMINS D'EAU ET GROUPES TURBINAGE POMPAGE

Nom du projet	Pays	Puissance (MW)	Nombre de chemins d'eau	Chute nominale H (m)	Débit nominal (m <sup>3</sup> /s)	Longueur chemin d'eau L (m)	Cheminée équilibrée	L/H	Groupes
	Cap Vert - Santiago	20	1	210	12	850	non	4.0	2F + 5P
Hatta	UAE - Dubai	250	1	150	221.9	1540	non	10.3	2 rev
Gilboa	Israël	300	1	508	66	2902	aval	5.7	2 rev
Abdelmoumen	Maroc	350	1	575	72	3100	non	5.4	2 rev
	Tunisie	374	1	425	110	2570	à définir	6.0	2 rev
<i>Grand Maison</i>	<i>France</i>	<i>1800</i>	<i>1</i>	<i>955</i>	<i>222</i>	<i>8102</i>	<i>amont</i>	8.5	8 rev + 4Pel
Attaqa	Egypte	2400	4	633	456	3081	aval ou amont	4.9	8 rev
	Australie - QLD	3500	4	480	866	5090	aval	10.6	12 rev

- Plusieurs chemins d'eau pour Puissance > 2000 MW ou débit turbiné > 400 m<sup>3</sup>/s
- Chute 150-700 m, souvent 2 groupes réversibles par chemin d'eau
- L/H entre 4 et 10 - cheminées d'équilibre si L/H devient trop grand pour stabilité de fréquence

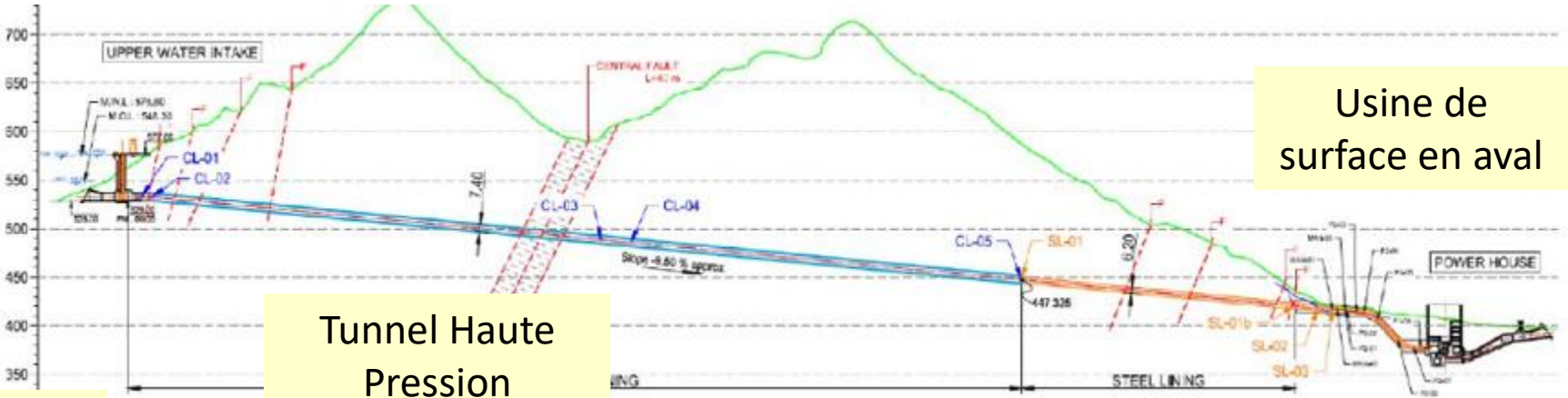
## Cas particuliers:

- *STEP Hatta : L/H = 10 sans cheminée mais stabilité de fréquence requise pour 15% de puissance*
- *STEP Cap Vert: petite puissance, pas de groupe réversible « sur étagère » -> Francis + pompes*
- *Grand Maison: Très haute chute max. 955 m, Pelton + groupes réversibles*

# Chemin d'eau souterrain - tunnel HP incliné

Particulièrement adapté à excavation au tunnelier

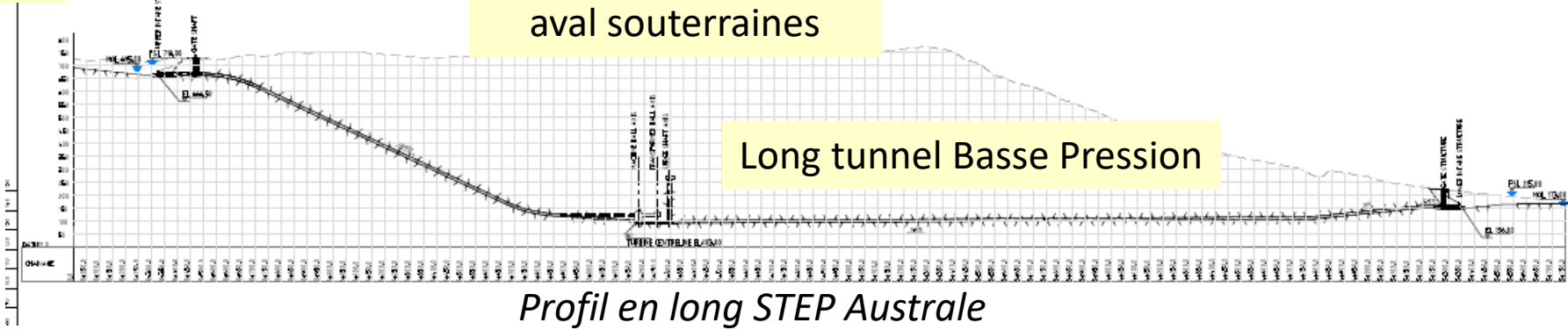
Aussi excavation traditionnelle mais avec plus faible pente (STEP Hatta)



Tunnel Haute Pression

Prise d'eau supérieure

Usine et cheminée aval souterraines

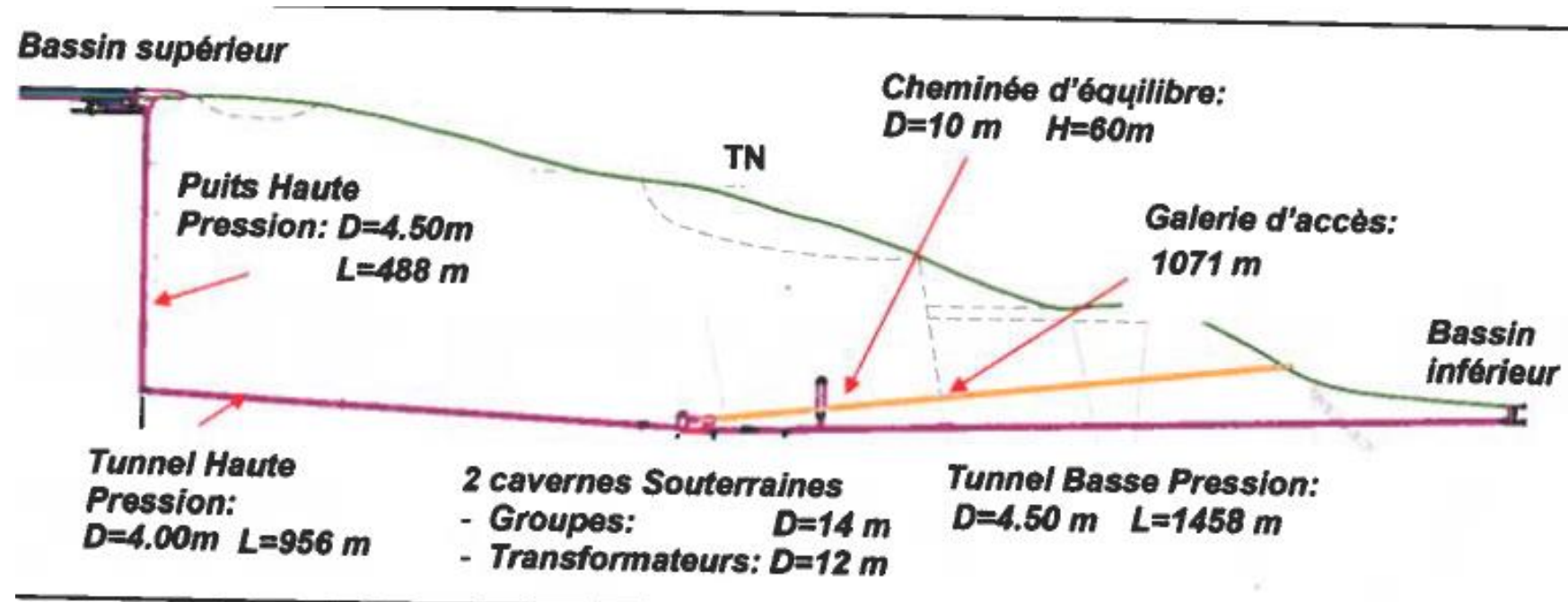


Long tunnel Basse Pression

Profil en long STEP Australe

# Chemin d'eau avec puits vertical

Disposition classique, puits excavé en technique rise boring  
Exemple STEP Gilboa (Israël), STEP Attaqa (Egypte)



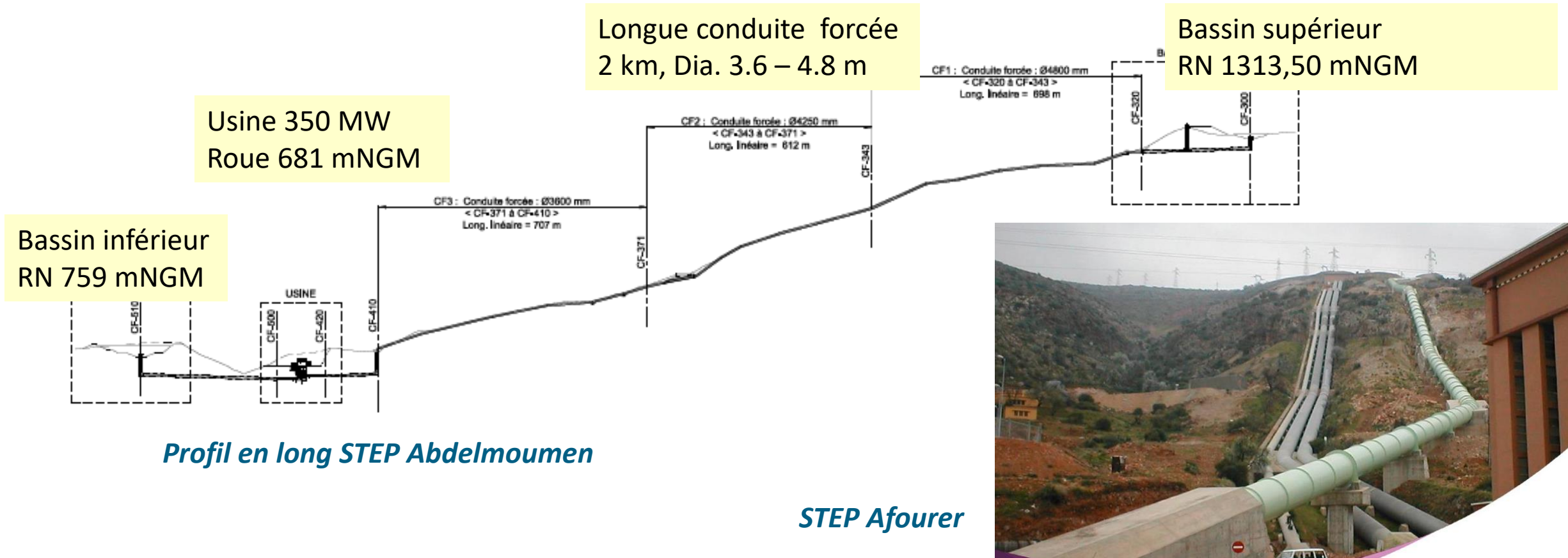
Gilboa : première centrale de Pompage-Turbinage en Israël, F. Laigle (EDF-CIH), Entreprendre en souterrain N°9

# Conduites forcées en surface

Maroc: relief relativement doux et géologie peu favorable pour travaux souterrains

➤ conduites forcées aériennes essentiellement (STEP Afourer et STEP Abdelmoumen)

Particularité STEP Abdelmoumen: présence d'une colline pour bassin inférieur





# STOCKAGE D'ENERGIE

Nom du projet	Pays	Puissance (MW)	Chute nominale H (m)	Groupes	Volume réservoir (Mm3)	durée turbinage (heures)	stockage énergie (MWh)	rendement cycle
	Cap Vert - Santiago	20	210	2F + 5P	0.32	8.0	160	71.4%
Hatta	UAE - Dubai	250	150	2 rev	2.3	6.0	1500	79.0%
Abdelmoumen	Maroc	350	575	2 rev	1.3	5.0	1755	72.70%
Gilboa	Israël	300	508	2 rev	2.7	8.0	2400	
	Tunisie	374	425	2 rev	3.3	7.0	2618	77.7%
Attaqa	Egypte	2400	633	8 rev	8.50	5.2	12427	
<i>Grand Maison</i>	<i>France</i>	<i>1800</i>	<i>955</i>	8 rev + 4Pel	<i>132</i>	<i>172</i>	<i>34572</i>	<i>mixte</i>
	Australie - QLD	3500	480	12 rev	62.2	19.0	65835	74.1%

*Australie:  
Victoria Big Battery  
300MW/450MWh  
(1,5 h)*

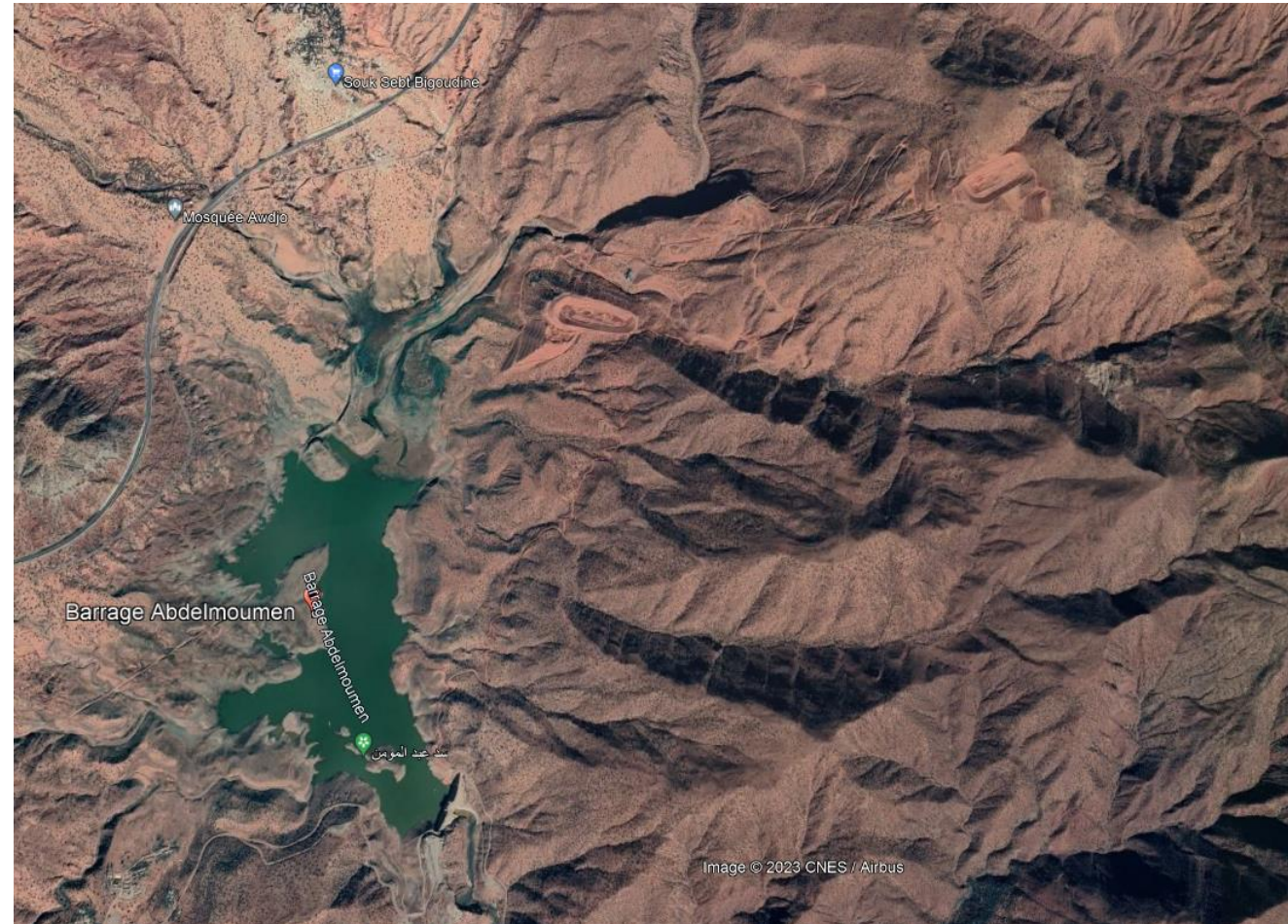
- Cycle fermé, durée turbinage 5 à 8 heures
- Gammes de stockage: 1,5 à 3 GWh et 10 à 66 GWh (3 à 7 Victoria B.B. / 22 à 58 Victoria B.B)
- Rendement du cycle turbinage pompage: 70 à 80%

## Cas particuliers

- *Grand'Maison: Gravitaire + pompage-turbinage, 172 heures de turbinage, problématique différente*
- Cap Vert: optimum = stockage 5–6 heures + groupes diesel existant pour quelques jours sans vent
- Australie: stockage 19 heures: en lien avec objectif zéro émission GES?

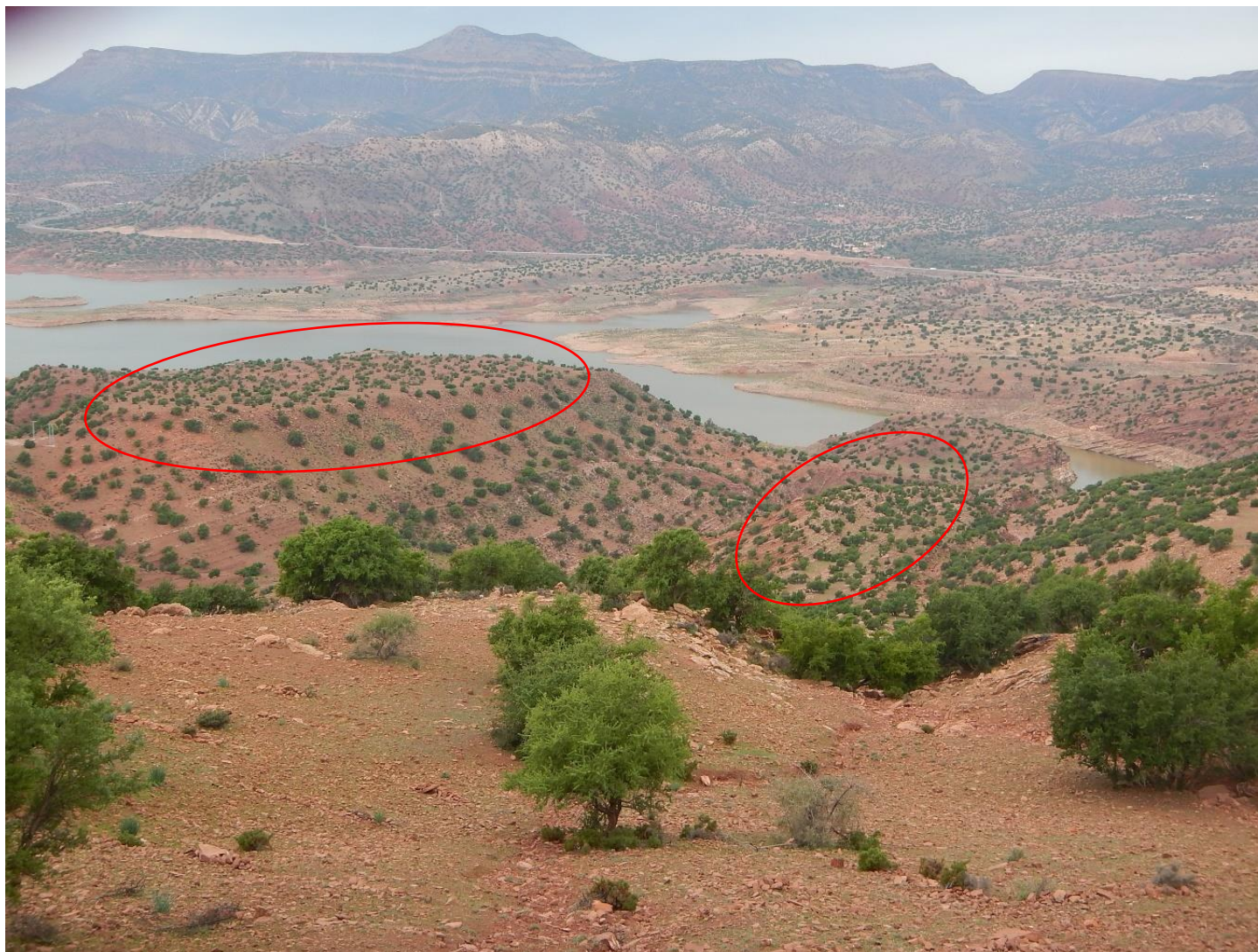
# STEP ABDELMOUMEN

- A proximité du barrage existant d'Abdelmoumen, 70 km au nord-est d'Agadir
- STEP en circuit fermé
- Puissance 350 MW, stockage 1755 MWh (5 heures)
- Bassins : 1,3 Mm<sup>3</sup> , étanchéité géomembranes PVC
- Galeries et puits: 1,1 km, dia. 5 m
- Conduite forcée: 2 km, dia. 3,6 m à 4,8 m,
- Usine en puits: 2 groupes réversibles, 575 m de chute
- Pompage d'appoint: 2 SP, conduite 4,2 km
  - premier remplissage 120 l/s (4 mois),
  - évaporation 0,37 Mm<sup>3</sup>/an (29% du volume d'eau)
- Poste de liaison au réseau.



# STEP ABDELMOUMEN

Contrat de conception réalisation signé en 2015: Groupement VCGP-Andritz



ARTELIA consultant pour VCGP:

- Mise à jour du PRO;
- Hydraulique chemin d'eau;
- Dimensionnement CF fatigue (phase offre);
- Etanchéité drainage des bassins;
- Etude dynamique structures usine;
- Conception système de pompage d'appoint et ouvrages divers;
- Expertises diverses.

*Site usine et bassin inférieur –  
décembre 2015*

# STEP Abdelmoumen



*Bassin supérieur  
1,3 Mm<sup>3</sup>*

*Août 2022*

*(photo VCGP)*

# STEP Abdelmoumen



*Bassin supérieur  
1,3 Mm<sup>3</sup>*

*février 2023*

*(photo VCGP)*

# STEP Abdelmoumen



*Conduite forcée :*

*longueur 2 km  
dia. 3,6 à 4,8 m*

*Août 2022*

*(photo VCGP)*

# STEP Abdelmoumen



*Tranchée conduite  
forcée*

*Usine*

*bassin inférieur*

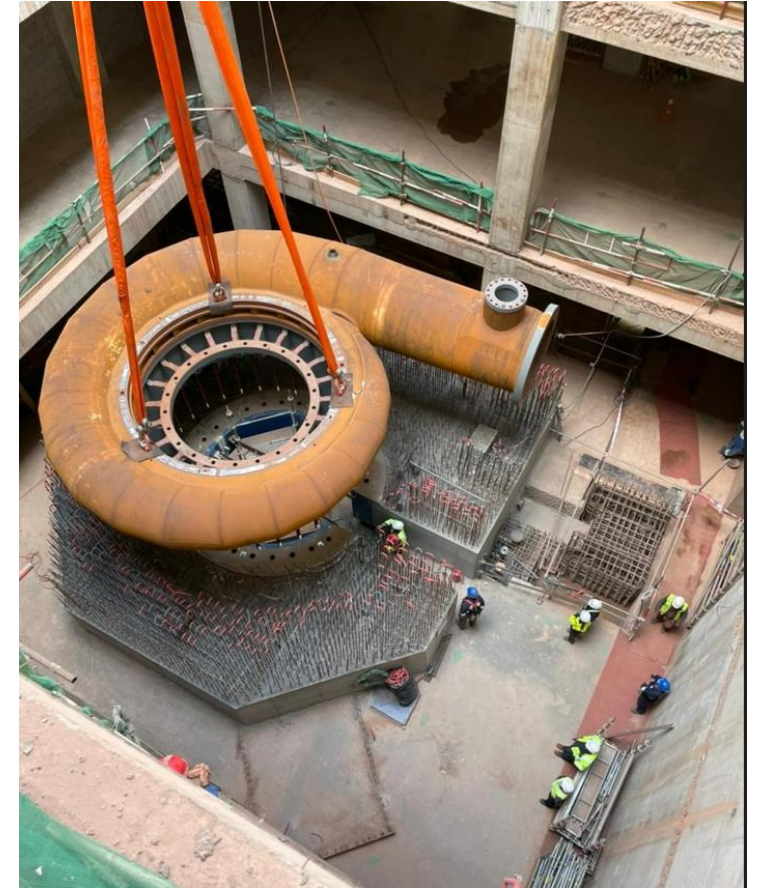
*janvier 2020*

*(photo VCGP)*

# STEP ABDELMOUMEN



*Fondation de l'usine en puits – janvier 2020  
(photo VCGP)*



*Positionnement bache spirale  
Mars 2021 (Photo VCGP)*



# STEP Abdelmoumen



*Arrivée conduite forcée,*

*usine en puits*

*Poste de raccordement*

*bassin aval 1,3 Mm<sup>3</sup>*

*Février 2023*

*(photo VCGP)*

*Merci de votre attention!*



[www.arteliagroup.com](http://www.arteliagroup.com)