

Chapitre 2

Potentiel des Energies Renouvelables au Maroc

Introduction

Contexte national

Dépendance énergétique quasi-totale de l'étranger :

- ❑ Le Maroc importe entre 95 % et 97% de ses besoins énergétiques avec une facture énergétique non maîtrisée (augmentation de 31.2% en 2011, soit près de 89.8 Milliards de DH, 103 Milliards de DH en 2012);
- ❑ Fluctuation importante des prix d'énergie (Le prix du baril de pétrole est passé de 79 \$ en 2010 à 126 \$ en 2012);
- ❑ Besoins moyen annuel d'énergie de +5% et EE +7,5% (x2consommation EE en 2020 et x4 en 2030);
- ❑ **définition et mise en place d'une stratégie énergétique nationale et un plan énergie s'impose.**

Stratégie Energétique Nationale

Quelle stratégie?

Stratégie Nationale de L'énergie*

- ❑ *placer la sécurité d'approvisionnement, la disponibilité de l'énergie ainsi que la préservation de l'environnement en tête de nos préoccupations;*
- ❑ *sécuriser notre approvisionnement énergétique,*
- ❑ *insister sur la nécessité de **diversifier les sources d'énergie, de mobiliser les ressources renouvelables**, Ceci devrait se faire dans le cadre de **l'adoption de l'efficacité énergétique** à placer au 1^{er} rang de priorité afin de traduire dans les faits Notre volonté de soutenir les programmes d'efficacité énergétique et de développement des énergies renouvelables,*
- ❑ *création du Fonds de développement Energétique,....*
- ❑ *« Volonté du Royaume du Maroc de devenir un acteur clé dans le cadre de la coopération énergétique euro-méditerranéenne, notamment à travers le renforcement des interconnexions électriques avec les pays voisins et la mise en place des infrastructures majeures nécessaires à la réalisation de l'intégration régionale, avec, au premier chef, 'la boucle électrique méditerranéenne'.*

**Assises nationales de l'Energie, Rabat, le 6 mars 2009*

Stratégie énergétique

❖ Engagement politique :

Engagement ferme de l'état dans le développement durable et *l'efficacité énergétique*

❖ Objectifs étatiques chiffrés :

2020: construire un mix énergétique diversifié et équilibré avec 42% la part des En.R de la capacité électrique totale installée (solaire+éolien=hydraulique=14%) soit 20% la part des énergies renouvelables dans le bilan énergétique national . Réalisation de **12% d'économies d'énergies par l'efficacité énergétique** .



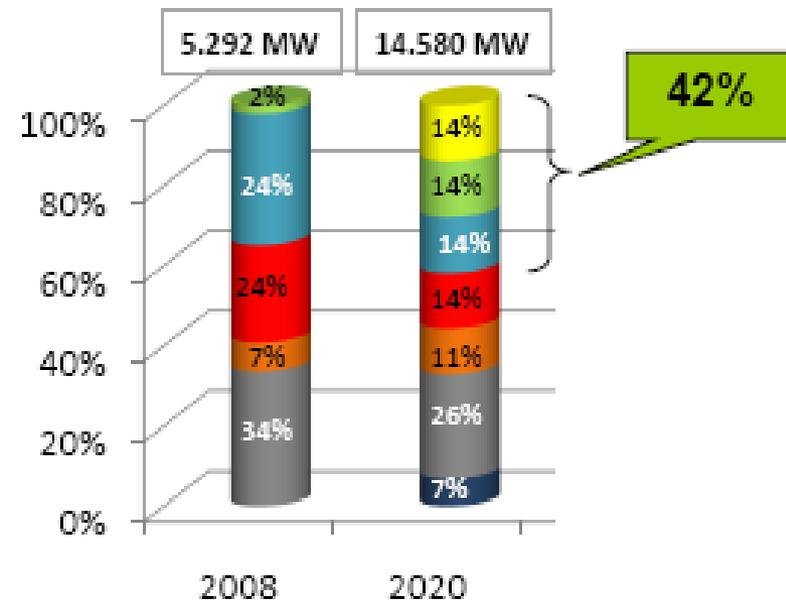
❖ Mise en place du cadre législatif et réglementaire :

✓ **La Loi 13-09 sur les énergies renouvelables**, très libérale et attractive, offre des opportunités d'investissement pour le secteur .

UN PARI SUR LE FUTUR DES ENERGIES RENOUVELABLES

En 2020, la part de la puissance électrique installée en énergie renouvelable s'établira à 42% du parc.

Evolution de la structure de la puissance installée



- Nucleaire
- Charbon
- Gaz Naturel
- Fioul
- Hydraulique
- Eolien
- Solaire

La loi 13/09 sur les Energies Renouvelables

- Ressources hydriques
- Gisement Eolien - Plan Eolien
- Gisement Solaire – Plan solaire
- Biomasse
- Géothermie

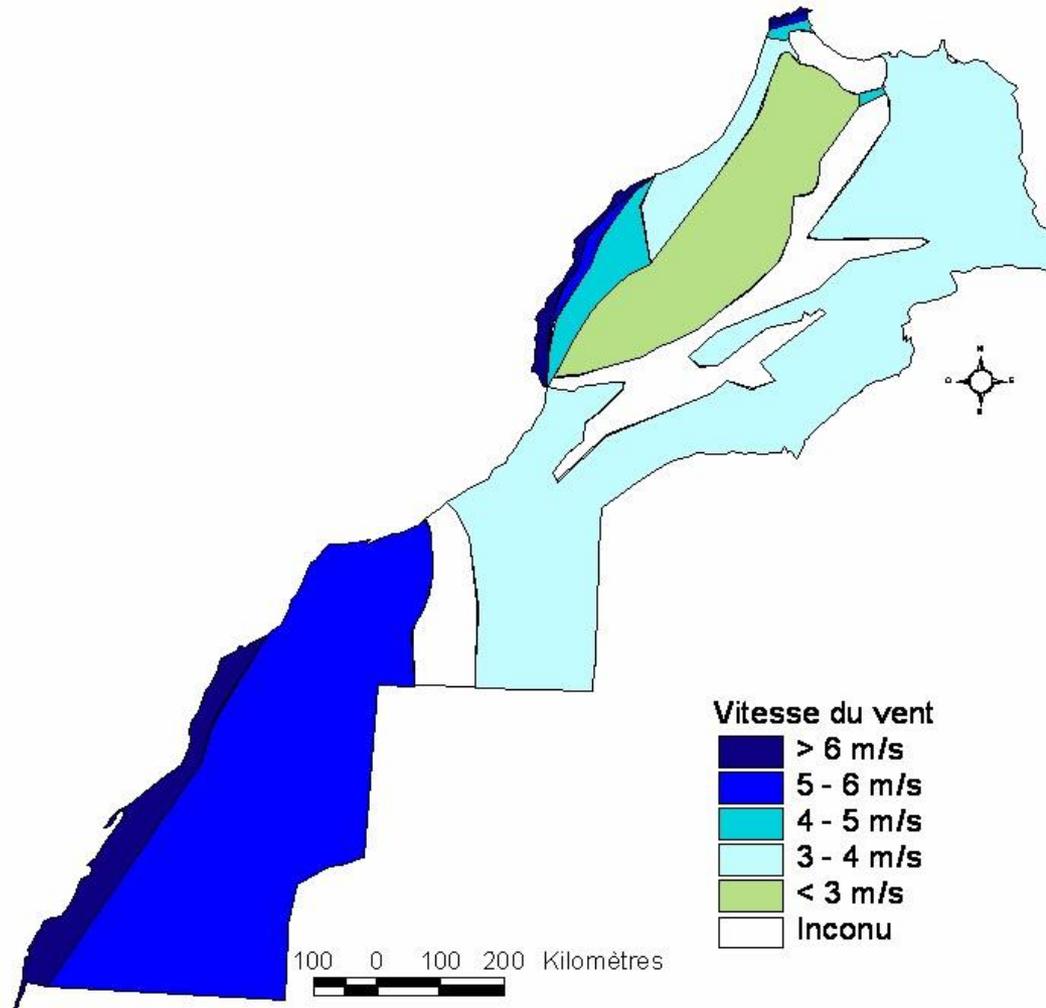
Les énergies renouvelables

- ✓ En 2012, la part des EnR a du représenter près de 10% du bilan énergétique (20 % de l'énergie électrique)
- ✓ A l'horizon 2020-2030, le potentiel éolien réalisable estimé à 7000 MW,
- ✓ D'ici 2020, le solaire chauffe eau (1.700.000 m²)
- ✓ **photovoltaïque** et des **centrales à concentration** solaire peuvent atteindre respectivement **1080 MW** et **400 MW**
- ✓ hydroélectrique installée sera portée de 1730 MW actuellement à **2700 MW**

Ressources Eoliennes Nationales

Plan Eolien

Gisement éolien

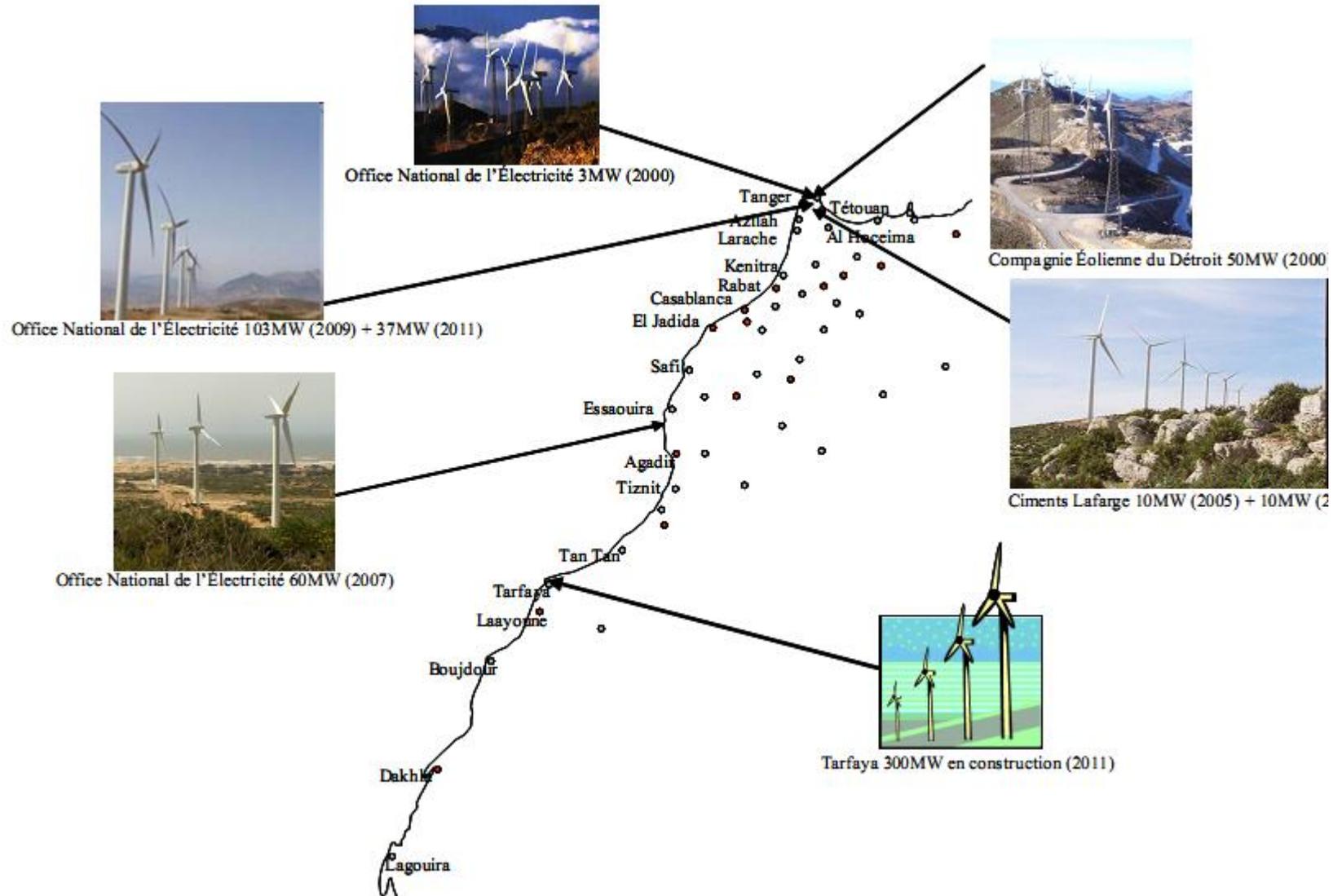


Commentaires :

La puissance produite par une éolienne est une fonction cubique de la vitesse du vent. Par suite, l'amortissement des grandes éoliennes servant à l'injection d'électricité dans le réseau baisse trop rapidement lorsque la vitesse du vent est trop faible. **Le Maroc possède donc trois grandes zones où le potentiel de production d'électricité éolienne est très intéressant : le détroit de Gibraltar, la côte Atlantique entre le Sud de El Jadida et le Nord d'Agadir, ainsi que la quasi-totalité de la côte des Provinces Sahariennes, en plus de quelques sites du « couloir de Taza ».** Le potentiel d'éolien économiquement exploitable a été d'abord chiffré à 10'000 MW puis ramené à 6'000 MW. **Si le Maroc avait développé l'éolien suffisamment à l'avance, un niveau d'intégration élevé aurait pu être exigé des fournisseurs...**

Plan Eolien

Carte des parcs éoliens opérationnels et en chantier fin 2009



Commentaires :

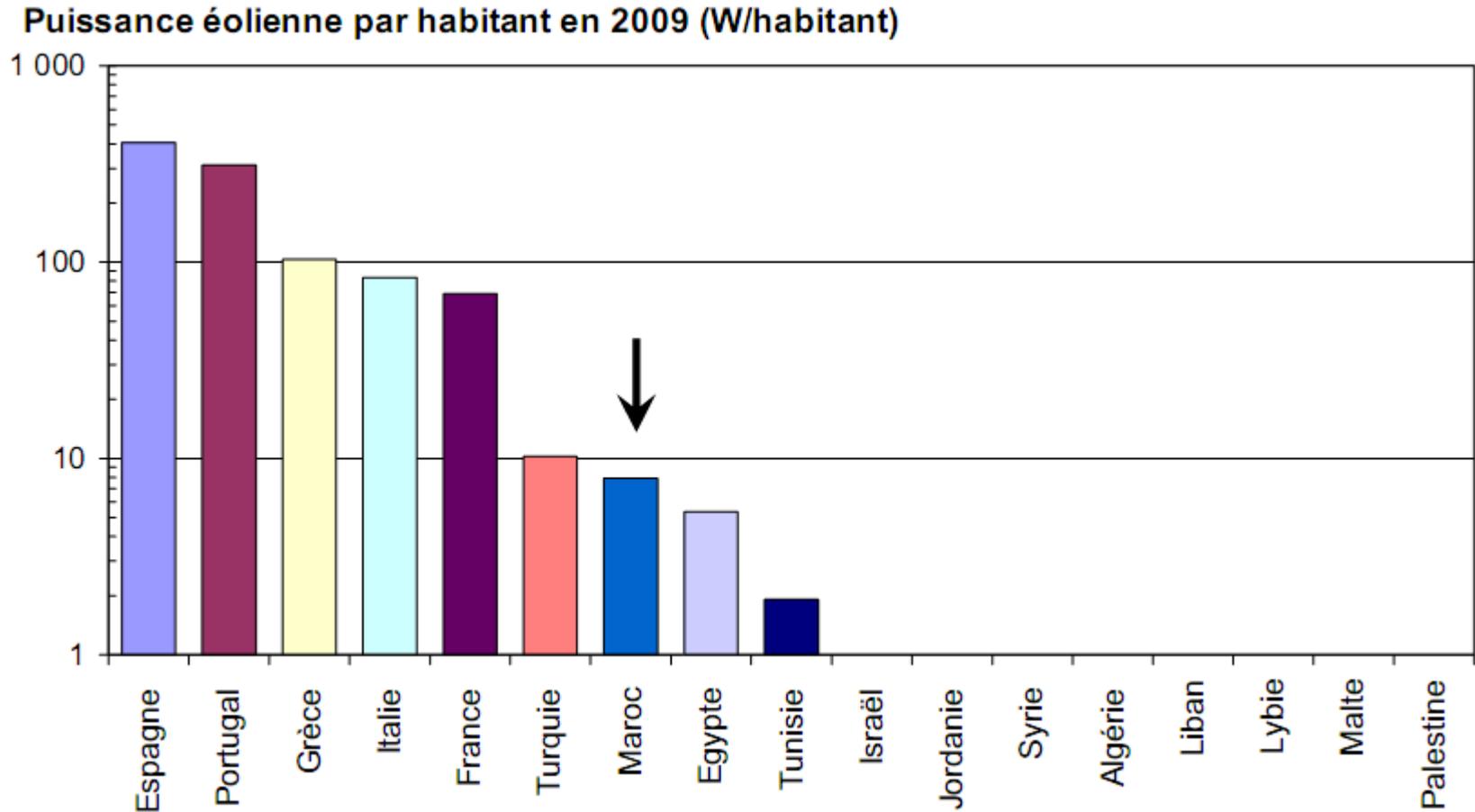
En 2010, la capacité atteint 284 MW de puissance installée, dont 32 MW appartenant au Groupe Lafarge dans le cadre de l'autoproduction du Programme Energie Pro. Les autres parcs éoliens injectent dans le réseau la totalité de leur production, qu'ils soient en production intégrée ONE ou concessionnelle (Compagnie Eolienne du Détroit). Comme on peut le remarquer, ils sont situés, bien évidemment, dans les zones les plus intéressantes de la carte précédente. Le potentiel global du pays a été estimé entre 6'000 et 10'000 MW

- **dont 1'000 devraient être construits avant 2015 dans le cadre du Programme Energie Pro**
- **le tout étant intégré dans le Projet d'Energie Eolienne du Maroc, cumulant 2'000 MW à fin 2020.**

Les trois parcs éoliens les plus récents (Lafarge, Essaouira et Tanger) ont bénéficié des sources de cofinancement par les **Mécanismes de Développement Propre**. Hélas, comme beaucoup d'autres projets, la mise en route des parcs éoliens a souffert de retards systématiques.

Plan Eolien

Comparatif des niveaux d'équipement éolien dans le bassin méditerranéen



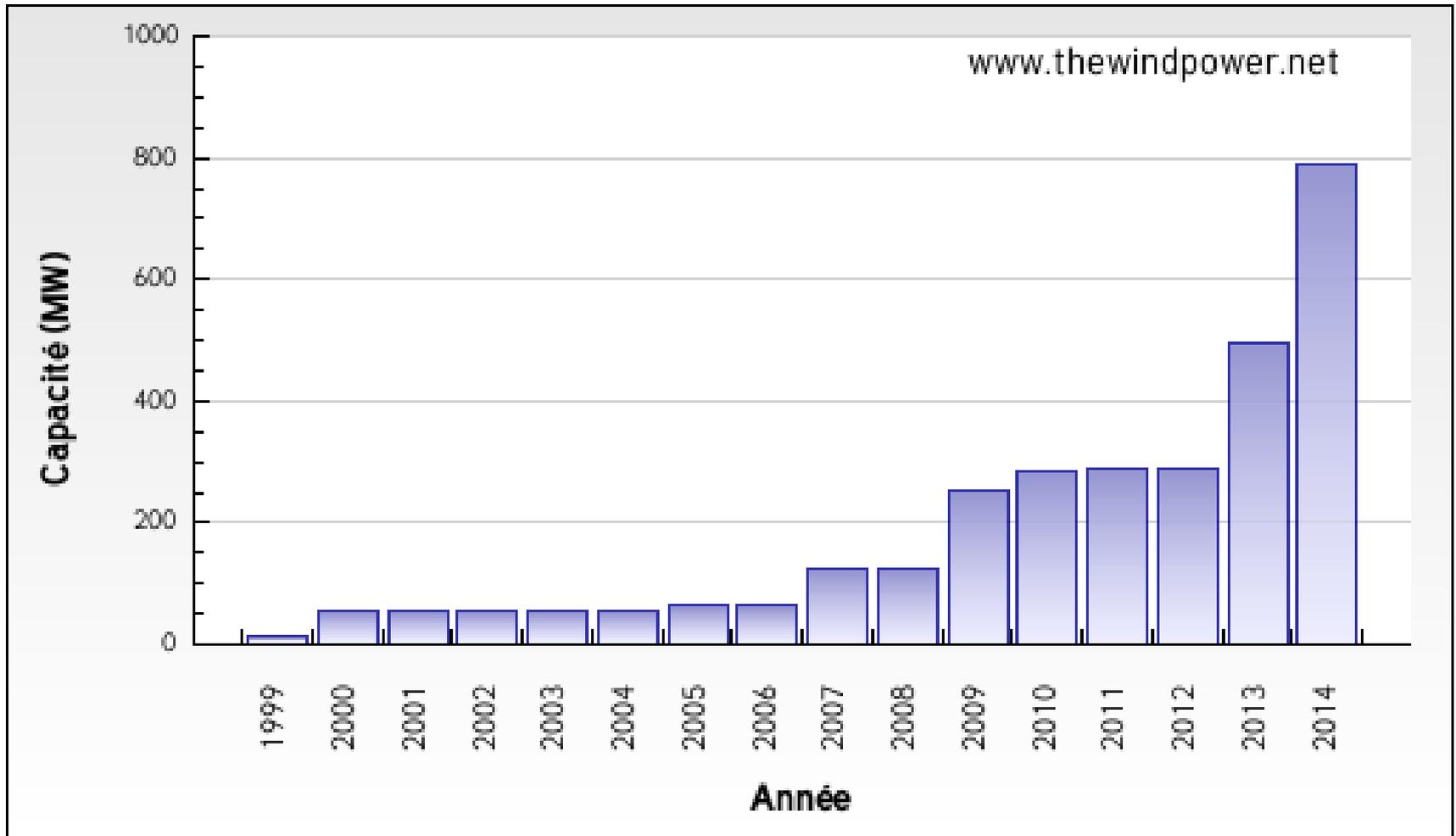
Commentaires :

Il est très important de noter que, l'échelle d'ordonnée est logarithmique, seul moyen de visualiser des chiffres dont les ordres de grandeurs trop différents. Dans le bassin méditerranéen, le Maroc occupe la 7^e place au classement des niveaux d'équipement, mais avec une puissance installée par habitant 50 fois plus petite que celle de l'Espagne. Avec une capacité installée d'à peine moins de 8 W par habitat, **le Maroc se trouve relégué à la 36^e dans le palmarès mondial de fin 2009, malgré sa 29^e place, avec 253 MW dans la capacité installée.** Les pays qui ont réussi à passer devant lui à la division par la population sont : la Bulgarie, la Hongrie, la Tchéquie, la Finlande, l'Estonie, le Costa Rica, la Lituanie, le Luxembourg, la Jamaïque, la Lettonie, le Guyana). **Nul doute que les quelques grandes centrales éoliennes des prochaines années, notamment avec le Plan Eolien Marocain qui va multiplier les capacités par 4, permettront au Maroc de gagner quelques places.**

Potentiel en énergie Eolienne

- ✓ Côte maritime de 3 500 km avec des vents réguliers
- ✓ Vitesse moyenne d'environ 8 m/s
- ✓ Potentiel réalisable d'environ 10 000 MW en particulier dans les Provinces du Sud, Prés du Détroit de Gibraltar, dans la région de Taza, à Essaouira, Midelt

Potentiel en énergie Eolienne - Réalisations



Potentiel en énergie Eolienne

Liste des 13 parcs éoliens du Maroc:

[Al Koudia Al baida](#), Abdelkhalak Torres (53 900 kW, 91 éoliennes)

[Ciments du Maroc](#), Layoun (5 000 kW, 5 éoliennes)

[Foud El Wad](#), Layoun(50 600 kW, 22 éoliennes)

[Haouma](#) (50 600 kW, 22 éoliennes)

[Laâyoune Farm](#) (51 100 kW, 39 éoliennes)

[Sendouk Farm](#), Tanger (65 000 kW)

[Tan Tan](#) (10 000 kW)

[Tanger](#) (140 250 kW, 165 éoliennes)

[Tarfaya](#) (301 300 kW, 131 éoliennes)

[Tarfayer](#),Essaouira, (65 000 kW)

[Tetouan](#), Cimenterie Lafarge (32 000 kW= 10 MW+22MW)

[YNNA Bio Power](#), Essaouira (50 000 kW)

Données techniques de quelques parcs éoliens du nord du Maroc

Développement de l'éolien dans la région Tanger Tétouan



**Parc Eolien Abdelkhalek Torres situé au Nord du Maroc, au Sud du détroit de Gibraltar, entre les villes de Tanger et de Tétouan.
Capacité installée de 54 MW,
opérationnel depuis l'année 2000**

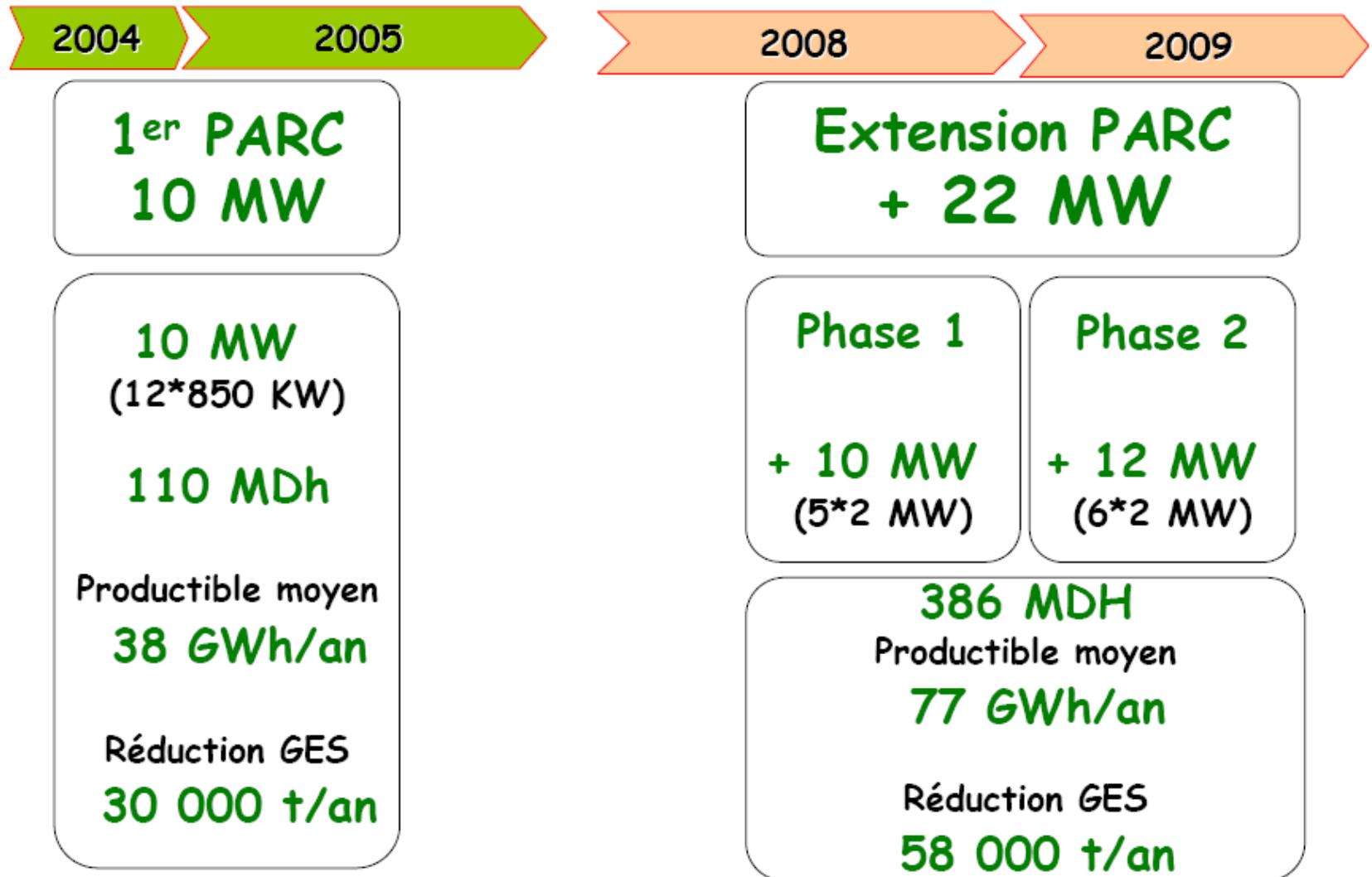
Le parc éolien de la cimenterie LAFARGE de Tétouan



1er Parc éolien Autoproduction électrique limitée par la réglementation à 10 MW

Chapitre2, Potentiel des En.Re. au Maroc

Nouveau cadre réglementaire pour l'autoproduction de l'énergie électrique (50 MW)



Le parc répond au besoin de la cimenterie de Tétouan et l'excédent est utilisé exclusivement par les autres usines Lafarge (via le réseau ONE)

Type d'aérogénérateur de 2 MW



Parc de Tanger

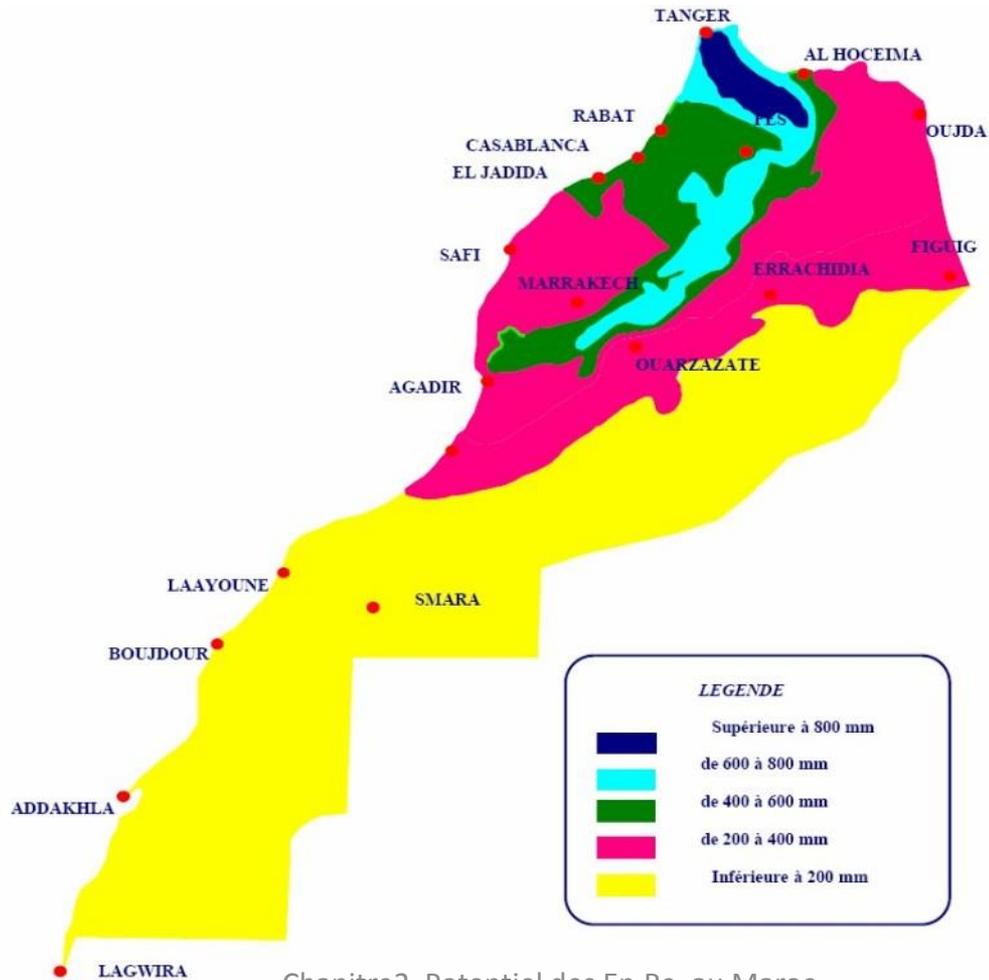
Inauguré le 28-06-2010 est considéré comme le plus important en Afrique

Caractéristiques du parc de Tanger

- Puissance installée : 140 MW
- Productibilité moyenne Annuelle : 526,5 GWh
- Nombre d'Aérogénérateurs (Puissance = 850 kW) : 165
- Vitesse moyenne annuelle du vent à hauteur de 40 m: 9 m/s
- Tension d'évacuation d'énergie : 225 kV

Ressources hydriques Nationales

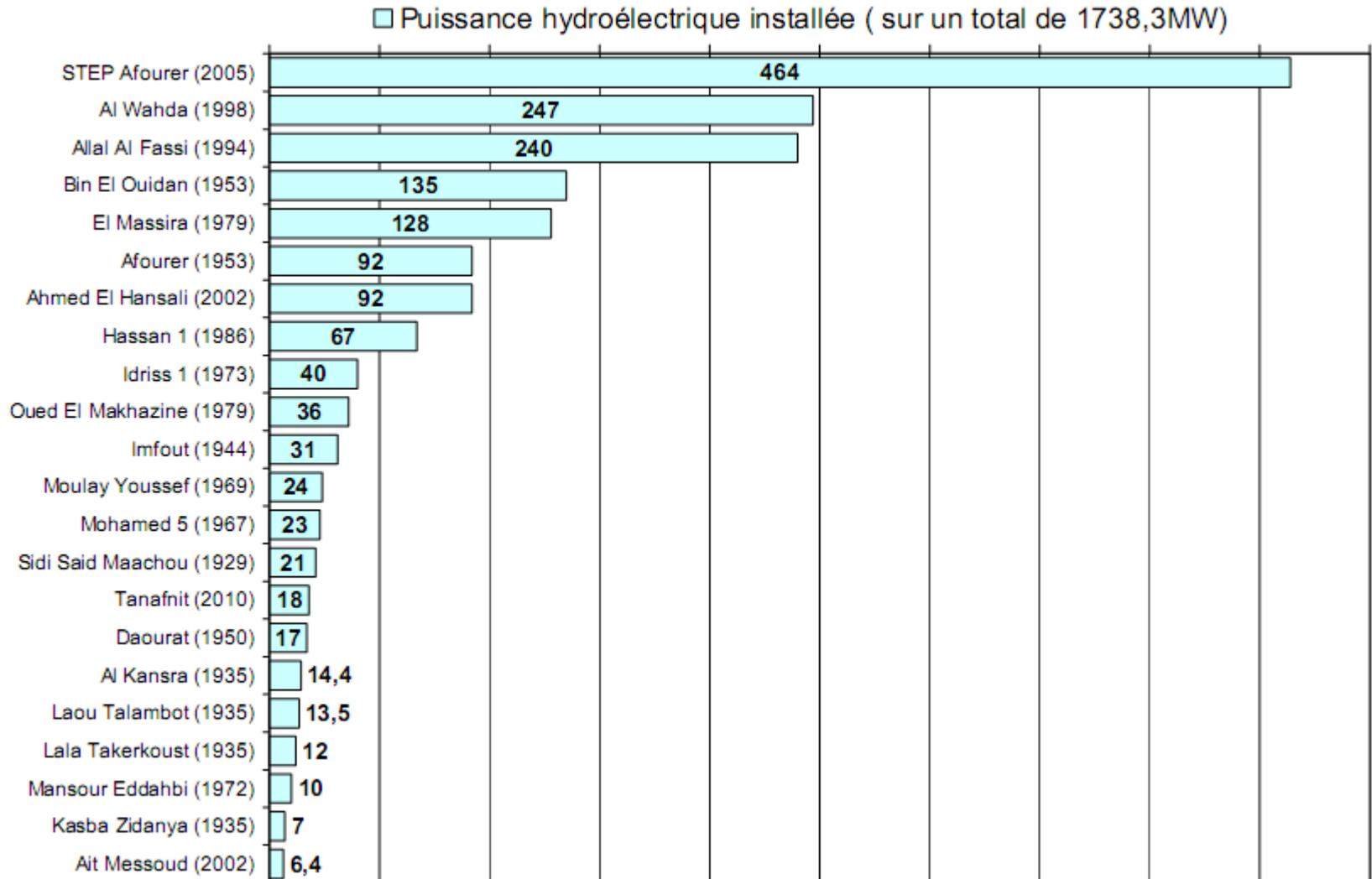
Ressources Hydriques



Commentaires :

Avec une ressource renouvelable en dessous de 500 m³ par habitant et par an, **le Maroc est un des pays qui commencent déjà à connaître un sérieux stress hydrique, compliqué par une pluviométrie variant spatialement entre 50 et 800 l/m² et temporellement du simple au double.** Dans ces conditions, la pression créée sur l'approvisionnement en eau rejailit forcément sur les ressources mises à la disposition de l'hydroélectricité.

Puissance hydraulique installée



Commentaires :

Si la capacité de **production d'hydroélectricité installée est intéressante (1'738 MW)**, son cumul pour les 22 barrages hydroélectriques n'en reste pas moins plus faible que celle **du barrage d'Assouan seul (2'100 MW)**. Malgré cela, on se prend à rêver que le facteur de charge moyen des barrages du Maroc puisse atteindre, ne serait-ce que 50%. L'offre en énergie électrique serait alors de l'ordre de 7'600 GWh, soit près du tiers des besoins en énergie électrique de 2006 ! Hélas, il n'en est rien.

Classement des capacités théoriques brutes de l'hydroélectricité par an et par habitant

Rank	Country	kWh/cap	Rank	Country	kWh/cap	Rank	Country	kWh/cap
1	Greenland	9 649 123	51	Panama	8 045	101	South Africa	1 507
2	Suriname	868 597	52	Iraq	7 811	102	Estonia	1 504
3	Iceland	623 729	53	Armenia	7 294	103	Germany	1 451
4	Gabon	144 509	54	Greece	7 194	104	Sudan	1 325
5	Norway	129 870	55	Myanmar	6 888	105	Czech Republic	1 272
6	Bhutan	121 590	56	United States of America	6 841	106	Ghana	1 266
7	Guyana	107 856	57	Iran	6 445	107	Malawi	1 164
8	Tajikistan	80 990	58	Solomon Islands	6 276	108	Uganda	1 145
9	Cyprus	70 659	59	Cambodia	6 254	109	Korea (South)	1 040
10	Canada	64 057	60	Nicaragua	6 014	110	Tanzania	1 018
11	Peru	56 386	61	Turkey	5 916	111	El Salvador	1 017
12	Costa Rica	51 768	62	Finland	5 906	112	Sri Lanka	1 012
13	New Zealand	50 894	63	Dominican Republic	5 621	113	Hungary	990
14	Montenegro	43 538	64	Japan	5 606	114	Ukraine	968
15	Laos	39 332	65	Azerbaijan	5 231	115	Senegal	944
16	Kyrgyzstan	30 965	66	Mozambique	5 204	116	Mali	888
17	Georgia	30 398	67	Turkmenistan	4 966	117	Belarus	820
18	Papua New Guinea	29 727	68	Guatemala	4 683	118	Burundi	795
19	Venezuela	27 328	69	China	4 623	119	Dominica	776
20	Nepal	27 015	70	Zambia	4 542	120	Luxembourg	754
21	Democratic Congo	24 275	71	Taiwan	4 499	121	Jordan	701
22	Sweden	22 121	72	Macedonia	4 425	122	Kenya	701
23	Colombia	21 930	73	Croatia	4 395	123	Netherlands	675
24	Mongolia	21 542	74	France	4 126	124	Togo	651
25	Faroe Islands	21 277	75	Mexico	4 018	125	Poland	649
26	Bolivia	19 386	76	French Polynesia	3 891	126	Guinea-Bissau	631
27	Austria	18 317	77	Swaziland	3 876	127	United Kingdom	587
28	Paraguay	18 025	78	Spain	3 762	128	Syria	578
29	Cameroon	18 012	79	Belize	3 704	129	Philippines	566
30	Bosnia and Herzegovina	17 917	80	Vietnam	3 581	130	Lebanon	559
31	Madagascar	17 252	81	Fiji	3 538	131	Moldova	476
32	Switzerland	17 237	82	Bulgaria	3 495	132	Haiti	469
33	Brazil	16 309	83	Zimbabwe	3 382	133	Morocco	381
34	Russian Federation	16 026	84	Uzbekistan	3 309	134	Jamaica	377
35	Chile	13 931	85	Italy	3 271	135	Algeria	365
36	Afghanistan	13 194	86	Romania	3 224	136	Nigeria	327
37	Australia	13 148	87	Portugal	3 049	137	Thailand	280
38	Albania	12 780	88	Latvia	3 034	138	Cuba	266
39	Ecuador	12 776	89	Pakistan	3 008	139	Somalia	243
40	Republic of the Congo	12 503	90	Lesotho	2 786	140	Ireland	241
41	Kazakhstan	11 467	91	Guinea	2 765	141	Benin	237
42	Namibia	11 324	92	Serbia	2 761	142	Rwanda	221
43	Indonesia	9 637	93	Côte d'Ivoire	2 534	143	Niger	215
44	Angola	9 410	94	India	2 391	144	Tunisia	99
45	Uruguay	9 241	95	Honduras	2 221	145	Belgium	96
46	Argentina	9 136	96	Sierra Leone	1 991	146	Burkina Faso	76
47	Malaysia	9 074	97	Slovakia	1 852	147	Bangladesh	28
48	Liberia	8 529	98	Lithuania	1 749	148	Denmark	15
49	New Caledonia	8 439	99	Central African Republic	1 734	149	Israel	8
50	Ethiopia	8 395	100	Egypt	1 688			

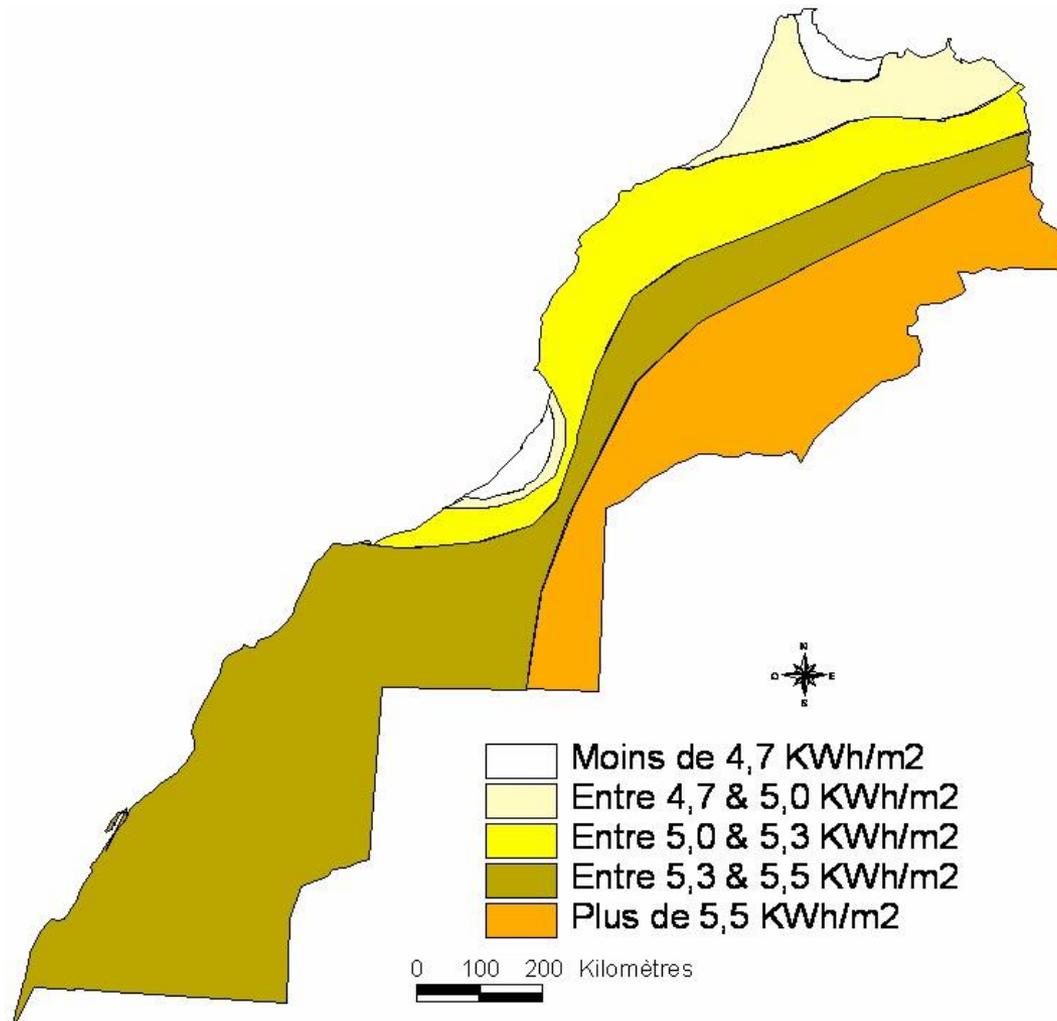
Commentaires :

Les capacités théoriques brutes de l'hydroélectricité représentent le productible électrique des installations existantes fonctionnant à pleine puissance toute l'année. Celles-ci sont rapportées à la population car l'électricité réseau ne se transporte pas sans interconnexion. Partant de données arrondies au TWh/an, il est possible que le bas du classement soit quelque peu modifié avec des données plus précises. Le classement des capacités brutes est très différent : Chine, Brésil, Inde, Russie, Indonésie et Canada en tête, **le Maroc ayant la 109 place (au lieu de la 133^e ci-dessus)**. Hélas, encore un mythe populaire détruit, celui d'un Maroc *"fort de son hydroélectricité"*.

Ressources Solaires Nationales

Plan Solaire

Gisement solaire-Carte du rayonnement solaire direct normal

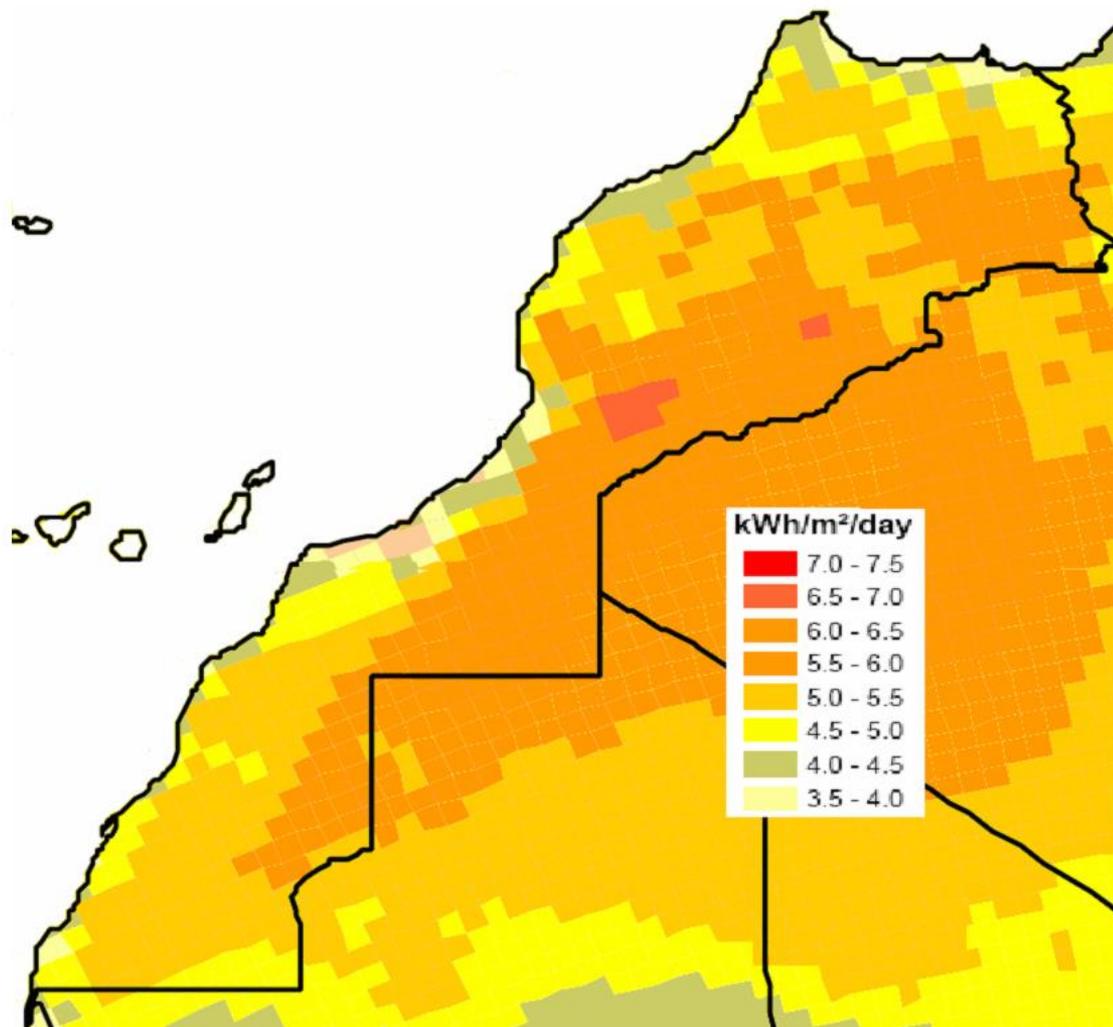


Commentaires :

Ce qui est représenté est la quantité moyenne annuelle de **rayonnement solaire global (direct et diffus) qui est reçue sur une surface horizontale**. L'Atlas, le Rif et le voisinage maritime ne structurent pas seulement la topographie du Maroc mais ils influencent aussi très fortement la répartition géographique du rayonnement solaire global horizontal en séparant des zones parallèlement à ces massifs montagneux dominants du pays. Ce rayonnement conditionne la production d'énergie par les convertisseurs d'énergie plans (**modules photovoltaïques et capteurs solaires thermiques**).

Plan Solaire

Carte du rayonnement solaire direct normal du Maroc.

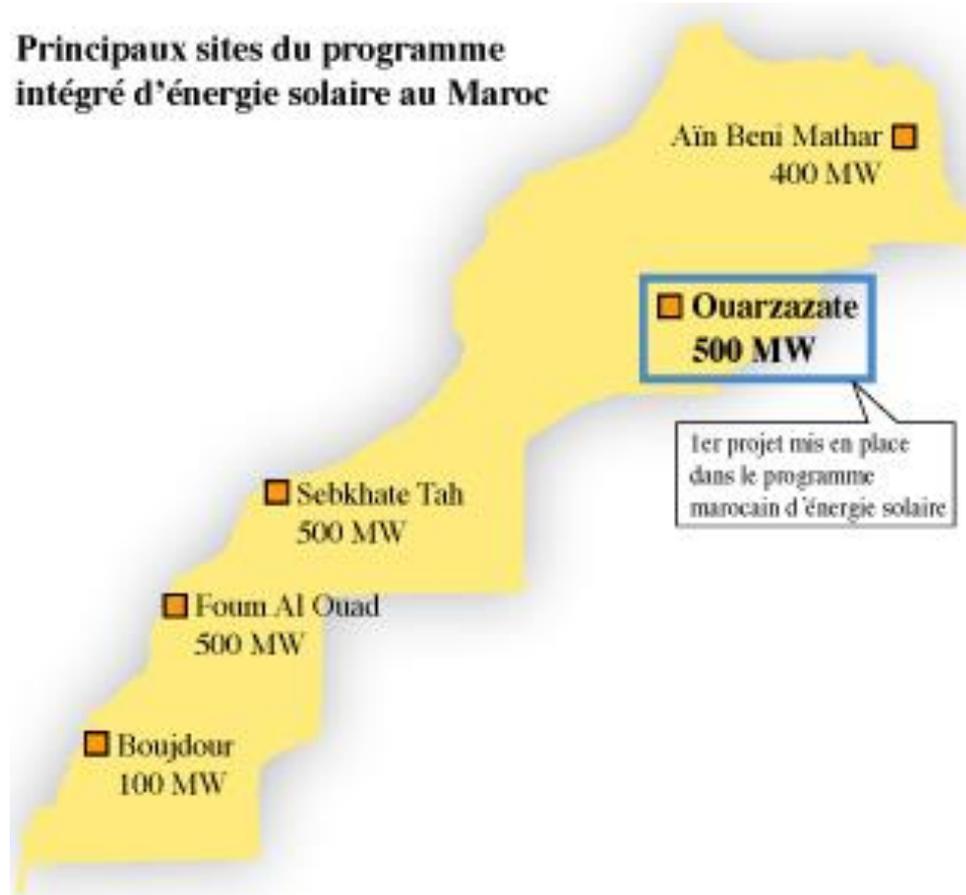


Commentaires :

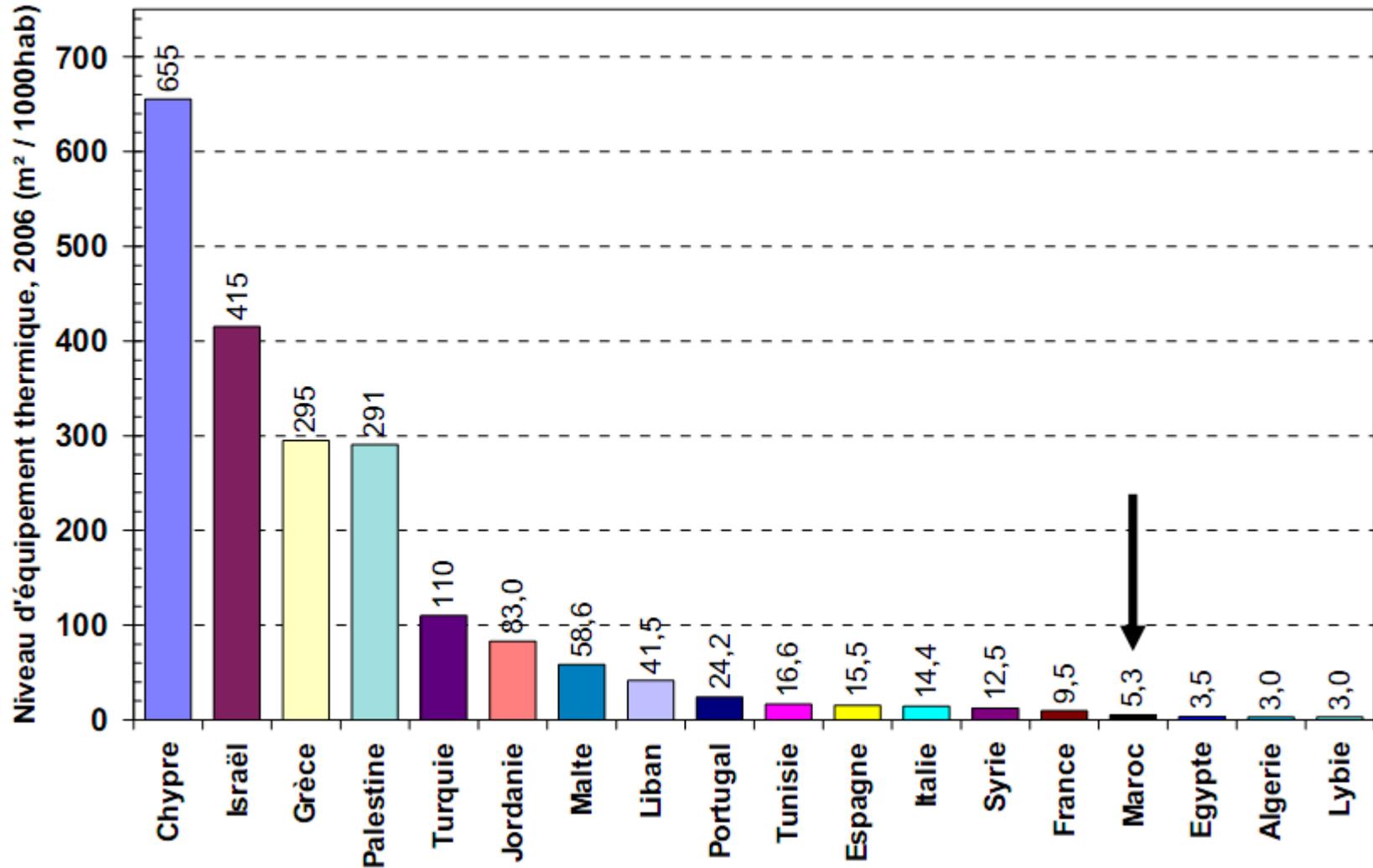
Les carrés grossiers dont dus à la résolution de la carte qui est de 40 km. **Ce qui est représenté est la quantité moyenne annuelle de rayonnement solaire direct qui est reçue sur une surface horizontale.** C'est surtout le voisinage maritime qui structure la répartition géographique du rayonnement solaire direct reçu par une surface horizontale. Ce rayonnement conditionne la production d'énergie par les collecteurs solaires thermiques linéaires ou ponctuels utilisés dans les centrales solaires thermodynamiques, prévus dans les futures centrales solaires du Plan Solaire Marocain débutant par **125 MW à Ouarzazate (2012, préqualification en cours).**

Plan solaire National

Principaux sites du programme
intégré d'énergie solaire au Maroc



Comparatif des niveaux d'équipement solaire thermique en méditerranée



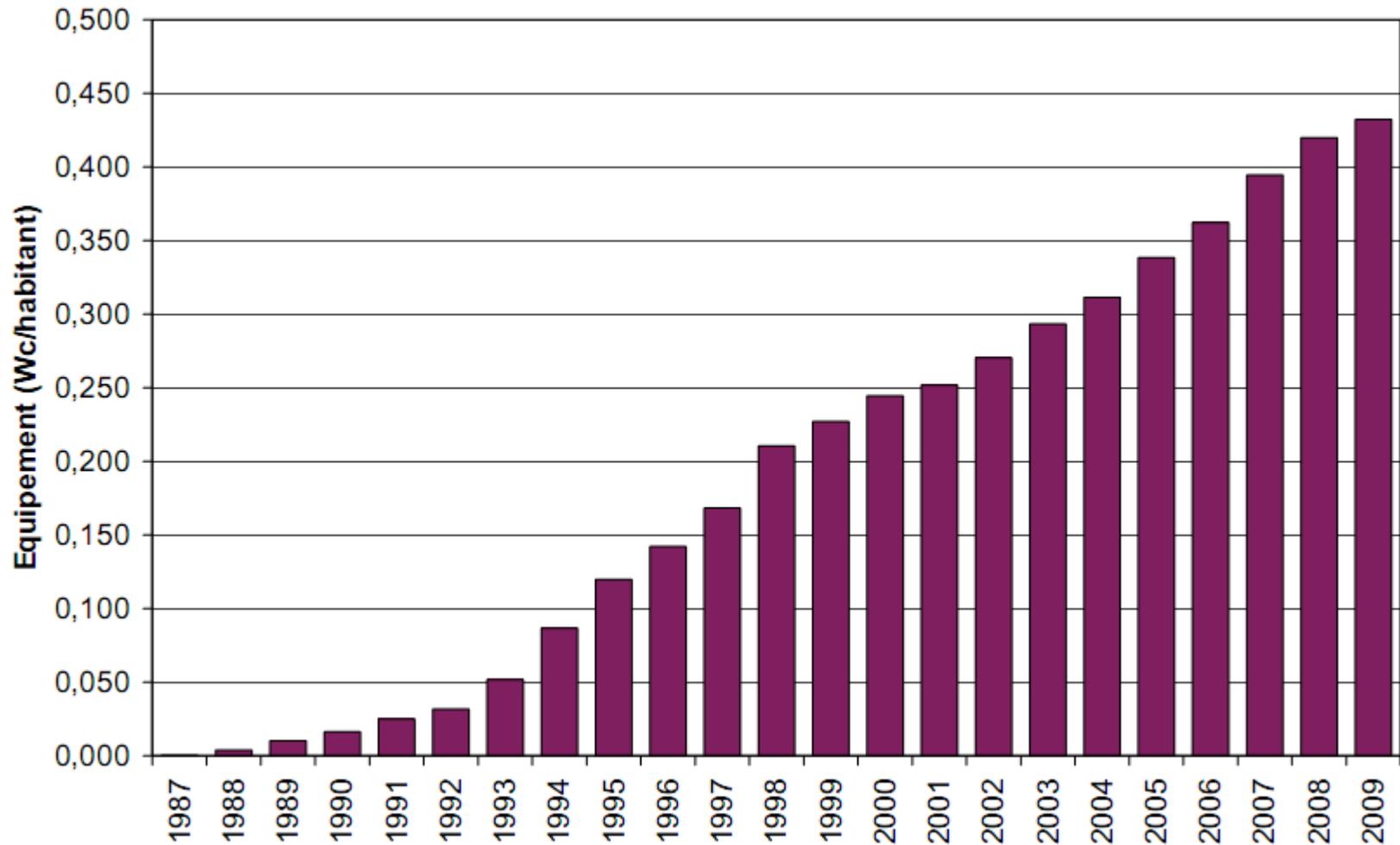
Commentaires :

Paradoxe incompatible avec sa dépendance énergétique, **le Maroc se situe juste entre l'une des premières puissances de l'industrie électronucléaire mondiale (France)** et les quelques pays producteurs d'hydrocarbures du bassin méditerranéen où les prix locaux de l'énergie sont très bas (Egypte, Algérie et Libye). Nombre de pays méditerranéens ont des produits intérieurs bruts compatibles avec ceux du Maroc et la richesse n'est évidemment pas le seul critère expliquant le niveau d'équipement :

Tous ces facteurs expliquent en réalité bien mieux la modeste position du Maroc dans ce classement mais il semble, hélas, que le dernier d'entre eux soit sans doute celui qui a le plus manqué à un pays énergétiquement dépendant.

Pénétration de l'énergie solaire photovoltaïque

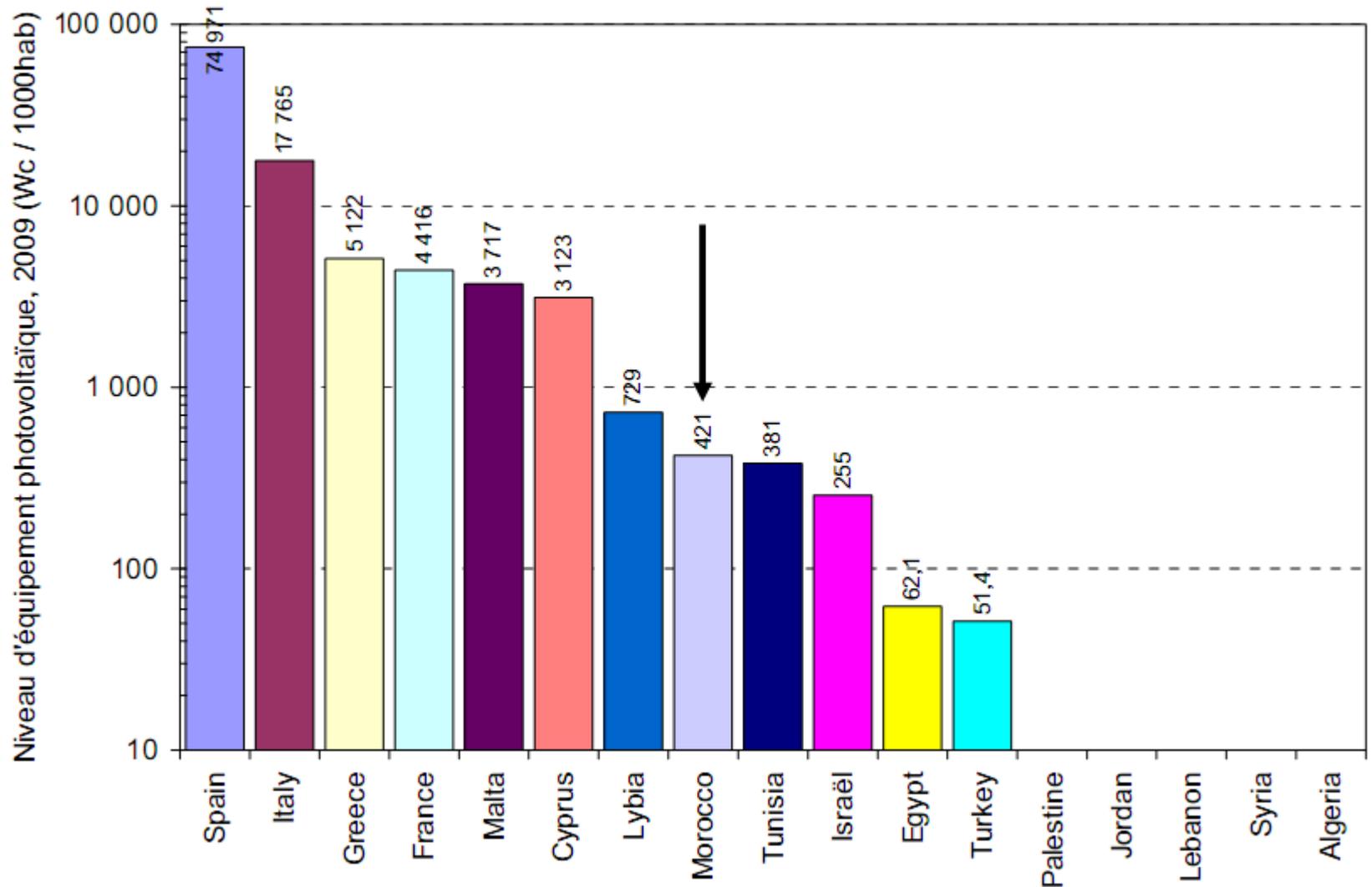
Evolution du niveau d'équipement en solaire photovoltaïque



Commentaires :

Cette technologie n'a commencé à être utilisée significativement en applications terrestres (hors satellites) qu'à partir des années 80. **Le Maroc a donc très vite intégré le photovoltaïque parmi ses solutions énergétiques pour le hors réseau.** Malgré la division par le nombre d'habitants, le cumul de la puissance allouée à chaque habitant continue à suivre une croissance intéressante. En 1990, l'équipement est parti d'un niveau insignifiant, voisin de 14 et s'est multiplié par 3, atteignant 42 W pour 1000 habitants. Malgré cette croissance, force est de constater que la valeur du niveau d'équipement reste encore faible pour un pays énergétiquement dépendant, malgré un positionnement acceptable par rapport à nos voisins. **Le Maroc est très en dessous de la moyenne mondiale puisque les 47 pays équipés de plus de 1MW et représentant 70% de la population mondiale, ont un niveau d'équipement moyen de 4'200 W pour 1000 habitants. Là aussi, il manque à tout ceci un cadre incitatif juridique et financier favorable et la loi récente ne permet pas le branchement sur le réseau basse tension, ce qui est exactement l'inverse de ce qu'on fait les pionniers (RFA, EU, Espagne et autres).**

Comparatif de niveaux d'équipement solaire photovoltaïque en méditerranée

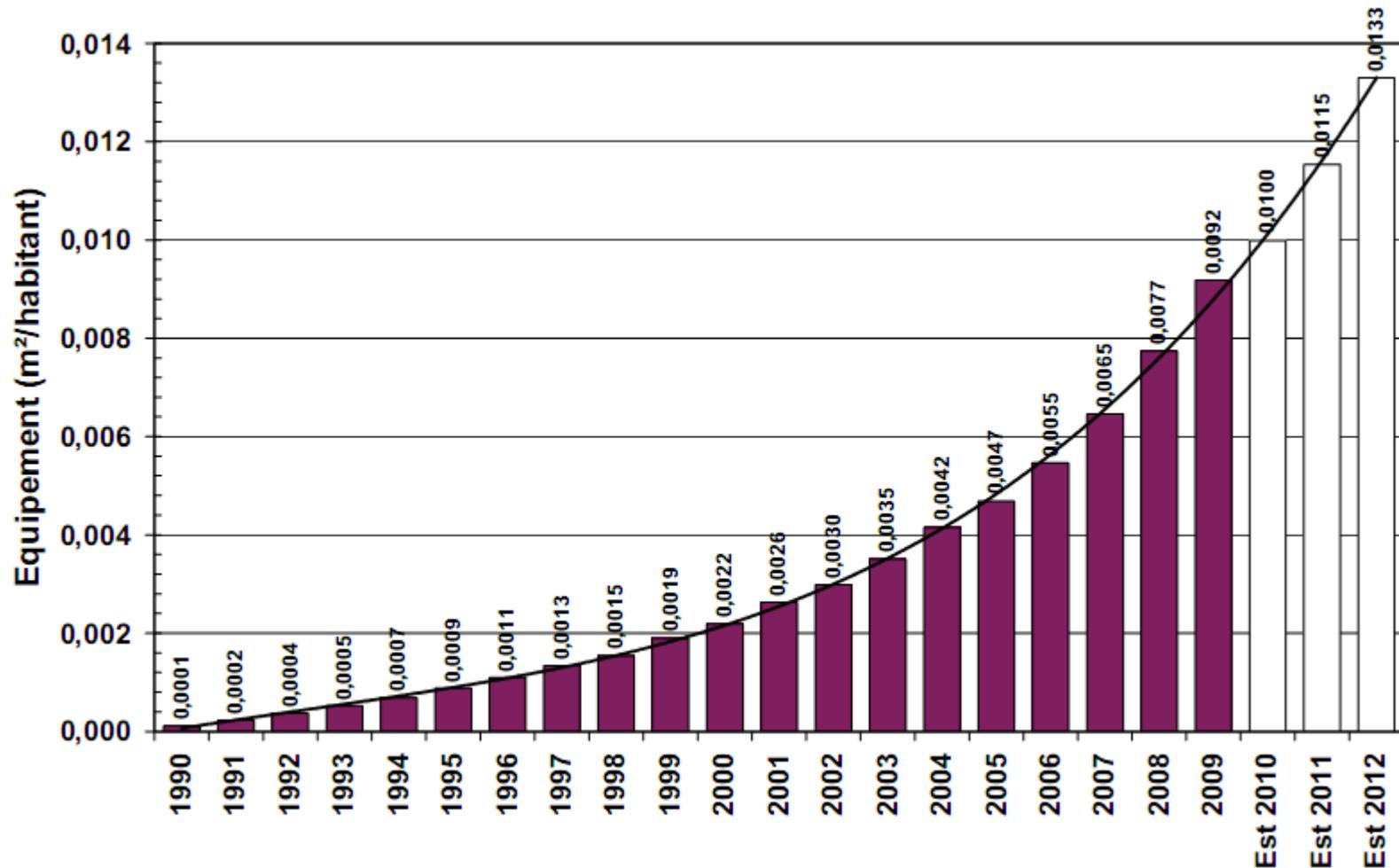


Commentaires :

Il est très important de noter que l'échelle d'ordonnée logarithmique est le seul moyen de visualiser des chiffres dont les ordres de grandeurs sont trop différents. **C'est sans doute l'habitat rural dispersé qui est la cause de la bonne position du Maroc dans ce classement. Les applications autonomes du photovoltaïque hors réseau sont légion au Maroc et ont commencé très tôt.** Il est intéressant de remarquer que des champions pétroliers, tels la Libye, devancent le Maroc dans ce classement. L'explication (ressources et étendue du territoire) qui vaudrait pour ce pays ne permet pas d'expliquer la position de l'Algérie. **Si les 13,5 MW installés à fin 2009, classent le Maroc 23^e à l'échelle mondiale.** Une fois divisés par la population, le Maroc passe à la 32^e place après avoir été devancé par la Suède, la Slovénie, la Norvège, la Finlande, la Bulgarie, la Mongolie, le Danemark, la Libye, Chypre et Malte. **Les places perdues ne sont pas, en règle générale, en faveur des pays aussi ensoleillés que le Maroc...**

Pénétration de l'énergie solaire thermique

Evolution du niveau d'équipement en solaire thermique



Commentaires :

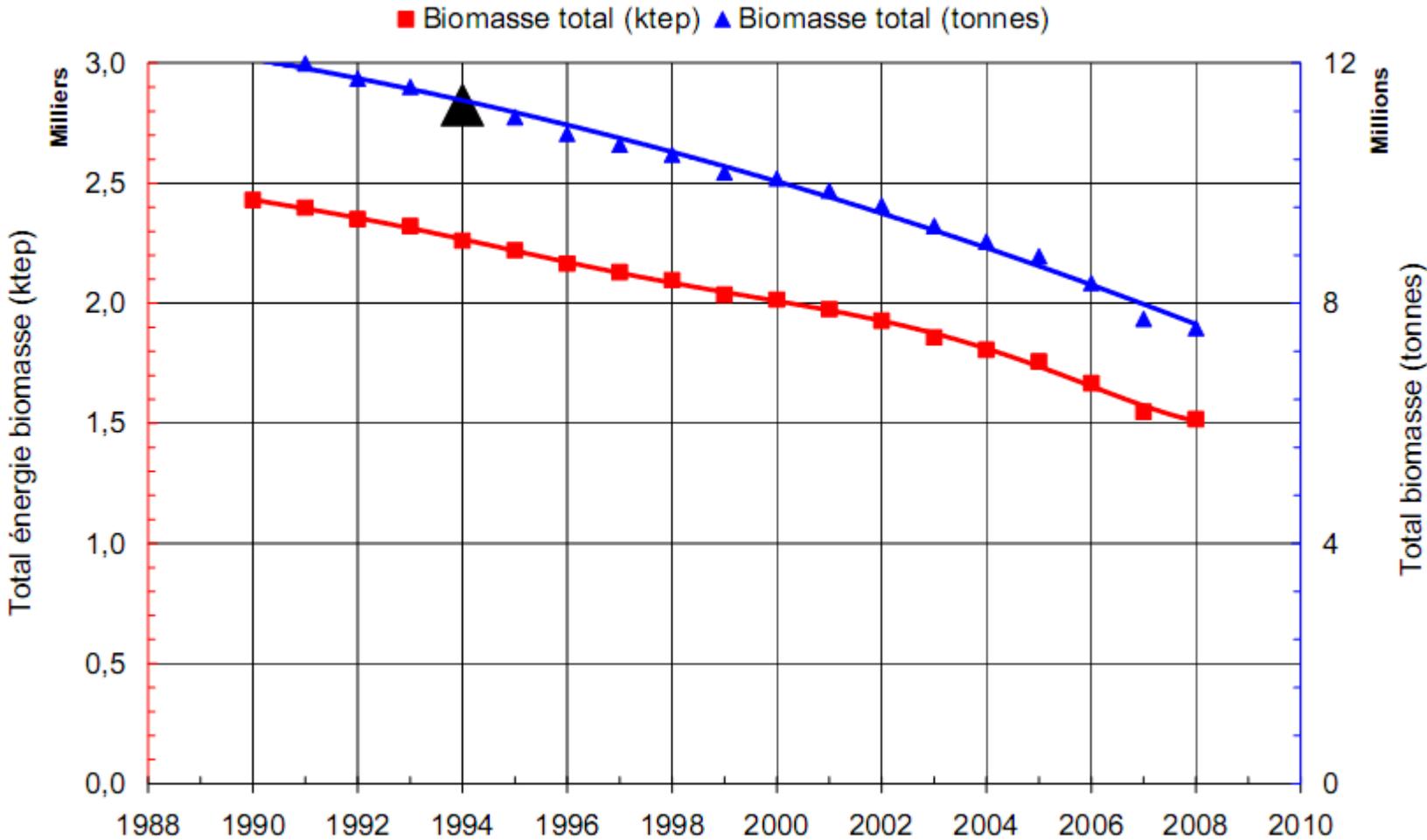
Malgré la division par le nombre d'habitants, **le cumul de surface de chauffe-eau solaires installés au Maroc suit une croissance intéressante. En 2000, l'équipement est parti d'un niveau quasiment insignifiant, voisin de 0,0022 m² / habitant.** Malgré cette croissance soutenue du niveau d'équipement, force est de constater qu'en valeur, **la surface allouée à chaque habitant atteint à peine 0,01 m² par habitant, soit l'équivalent d'un carré de 10 cm de côté !** Ce chiffre, non plus, n'est pas ce qu'il devrait être pour un pays qui a :

- ✓ Une dépendance énergétique quasi-totale
- ✓ Une ressource solaire intéressante sur tout le pays
- ✓ Un habitat à dominante individuelle avec terrasse horizontale

LA BIOMASSE

Quels types?

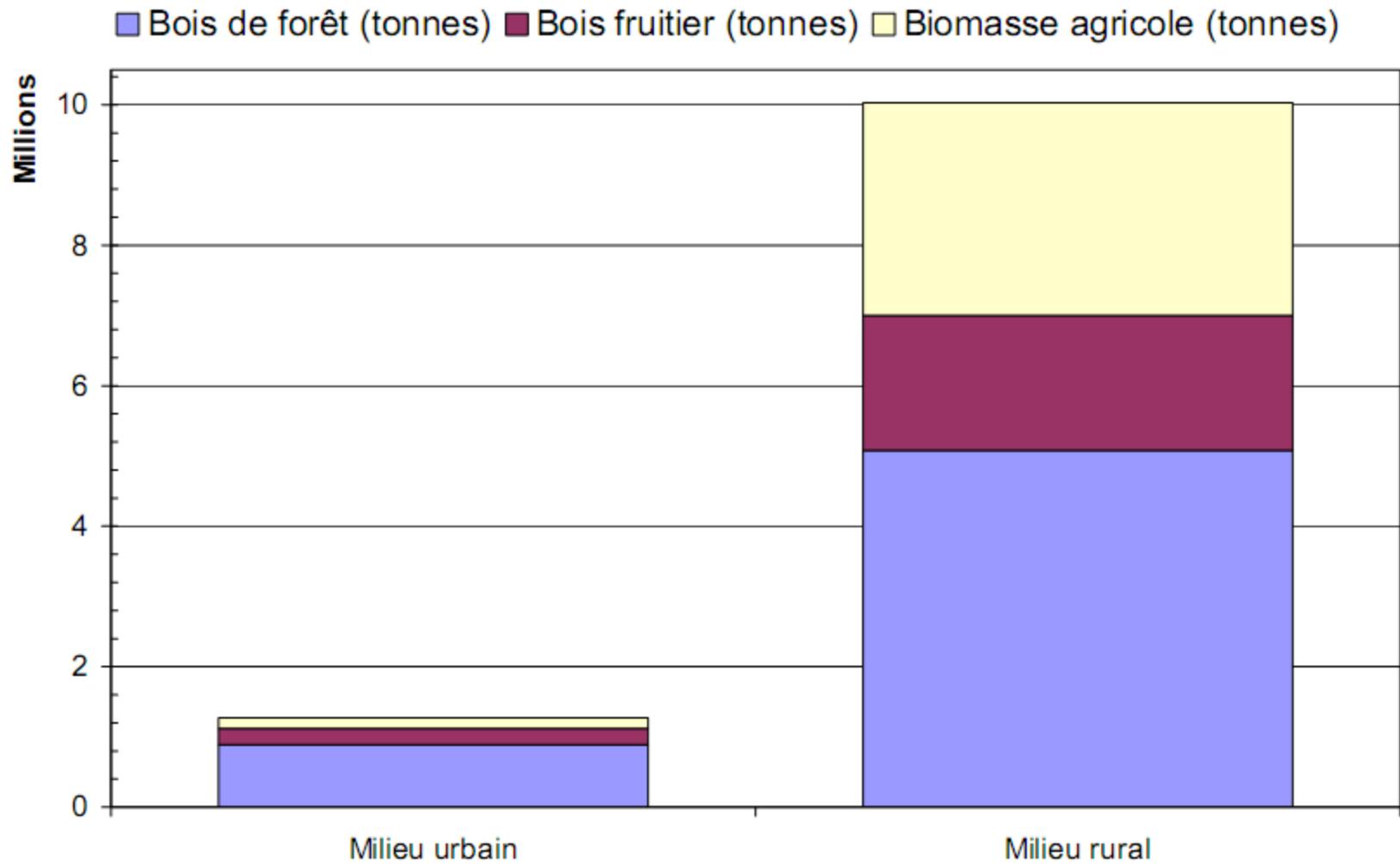
Evolution calculée de la consommation de bois énergie



Commentaires :

C'est la partie la plus contestable. **En effet :**

Malgré cela, nous avons voulu visualiser ce que serait le degré de décroissance de l'appel à la biomasse si ce scénario était valable. Cette décroissance serait une bonne nouvelle pour les forêts marocaines, car, sans elle, l'effet de la subvention du butane sur la lutte contre la déforestation serait nul. Dans le cadre du modèle de substitution, on découvre que le subventionnement du gaz butane aurait certes permis de baisser la consommation de biomasse forestière mais d'à peine 30% en 20 ans. Les prélèvements continuent à exercer une trop grande pression sur le domaine forestier. Il est nécessaire d'établir une base d'informations fiables et de mettre en place une planification nationale en matière de bois énergie.



Commentaires :

Sur la base de 0,2 tep par tonne de bois, l'équivalent énergétique des consommations de 11,3 millions de tonnes de biomasse en 1994 était estimé à 2'261 tep. Le total est réparti :

➤ 52,8% forestier

➤ 19% fruitier

➤ 28,2% agricole

Du point de vu de la destination:

➤ 11,3% urbain

➤ 88,7% rural

La géothermie ?

Conclusion

- Le Maroc, s'il veut réduire sa facture énergétique, il doit compter sur ses ressources renouvelables: potentiel solaire et éolien jusqu'à présent reste sous exploité;
- Renforcer la formation et la recherche dans le domaine des énergies en général et renouvelables en particulier;
- Les potentiels en biomasse est mal exploité, celui du bioénergie est sous estimé.

Fin du chapitre