

LES DOSSIERS DE LA MEDIATHEQUE DE L'IHEST



L'avenir du marché de l'énergie en Chine

Aout 2016

<http://www.ihest.fr/la-mediatheque/>

L'avenir du marché de l'énergie en Chine

Préambule

Introduction

L'énergie est un thème récurrent dans les débats qui agitent la population, les politiques et les scientifiques. On observe à tous les niveaux une inquiétude face aux ressources limitées de combustibles fossiles et au changement climatique. La société est divisée sur les solutions à privilégier, d'autant que l'accident de Fukushima en mars 2011 a relancé la question de la sécurité de l'énergie nucléaire.

Il est naturel dans ces conditions que l'IHEST fasse de l'énergie un de ses thèmes majeurs et qu'il mette en ligne des débats et des dossiers portant sur divers aspects du sujet.

La consommation d'énergie et les émissions de CO₂ sont relativement stables dans les pays occidentaux. En revanche elles augmentent très rapidement dans de nombreux pays, notamment en Chine. Les choix de la Chine ont un impact majeur sur l'énergie et les émissions de CO₂ mondiales à cause de la taille et de la croissance économique de ce pays.

Le rapport commence par un bref aperçu de la situation de l'énergie en Chine puis il aborde plus en détail la R&D chinoise dans ce domaine.

Le rapport s'est focalisé sur la situation actuelle et les développements technologiques probables dans les secteurs des énergies fossiles, du nucléaire et des énergies renouvelables.

La politique énergétique chinoise et son évolution probable font l'objet d'un autre dossier de l'IHEST *Les politiques énergétiques de la Chine et du Vietnam*.

Abréviations et termes techniques fréquents dans le dossier

Biomasse

Dans le domaine de l'énergie, le terme de biomasse regroupe l'ensemble des matières organiques non-fossiles pouvant devenir des sources d'énergie. Il y a de nombreuses sources de biomasse : agriculture, forêts, industrie agroalimentaire, déchets municipaux, boues des stations d'épuration, gaz des décharges, cultures énergétiques.

La biomasse peut être utilisée directement (combustion du bois ou des déchets), après méthanisation (biogaz) ou de nouvelles transformations chimiques (biocarburant).

Energie primaire

La production primaire d'énergie correspond à l'extraction d'énergies puisées directement dans la nature (ex : bois, énergies fossiles) et, par extension, à l'électricité produite par les centrales hydrauliques ou nucléaires et à l'électricité d'origine photovoltaïque, éolienne, géothermique.

Energie renouvelable

Energie fournie par le soleil, directement (énergie solaire) ou indirectement (vent, chaleur du sol, marées et courants, croissance des végétaux). Elle peut aussi provenir des couches profondes de la planète (géothermie). En règle générale, les statistiques sur l'énergie ne comptabilisent que les énergies commercialisées. Elles excluent la biomasse non-commerciale bien que celle-ci représente une part importante de l'approvisionnement énergétique des pays pauvres.

Intensité en carbone

L'intensité en carbone est le rapport des émissions de CO₂ à la production d'une entreprise (ou le PIB d'un pays).

PIB

Produit intérieur brut. Le PIB est une mesure de la performance d'une économie nationale. Il mesure la valeur des biens et services produits dans le pays pour autant qu'ils ne soient consommés pour produire d'autres biens et services, autrement dit il définit la valeur ajoutée. C'est aussi la mesure du revenu provenant de la production dans ce pays.

R&D

Recherche et développement. Les travaux de recherche et développement regroupent : 1) la recherche fondamentale ; 2) la recherche appliquée ; 3) le développement expérimental.

Scénario AIS (Accelerated Improvement Scenario in energy and carbon intensity)

Le scénario « Amélioration accélérée » du *Lawrence Berkeley National Laboratory* suppose une politique très volontariste en faveur des meilleures pratiques actuelles et une utilisation systématique des technologies énergétiques alternatives. Il comprend des mesures qui ne sont pas actuellement envisagées par les pouvoirs publics. Le but est de savoir quelle est la consommation d'énergie et les émissions de CO₂ en dessous desquelles il est totalement impossible de descendre, même dans « le meilleur des mondes ». Le scénario exclut cependant, la capture et séquestration du carbone. Il est similaire au scénario ERI « faibles émissions de carbone » de l'*Energy Research Institute* de Pékin.

Scénario CIS (Continued Improvement Scenario in energy and carbon intensity)

Le scénario « Amélioration continue » du *Lawrence Berkeley National Laboratory* suppose que l'économie chinoise continuera sur la voie de la réduction de son intensité énergétique en fonction du PIB. Il est similaire au scénario ERI de base de l'*Energy Research Institute* de Pékin. Ce sont tous deux des équivalents du scénario tendanciel.

Scénario tendanciel

Le terme « tendanciel » est l'équivalent français de la formule anglaise « business as usual ». Selon l'AIE, un scénario énergétique tendanciel est défini ainsi : « Un scénario tendanciel est un scénario où la demande d'énergie évolue dans le futur conformément aux tendances du passé et où aucune politique nouvelle n'est adoptée ».

Secteur tertiaire

Le secteur tertiaire recouvre un vaste champ d'activités qui va du commerce à l'administration, en passant par les transports, les activités financières et immobilières, les services aux entreprises et services aux particuliers, l'éducation, la santé et l'action sociale. Le périmètre du secteur tertiaire est de fait défini par complémentarité avec les activités agricoles et industrielles (secteurs primaire et secondaire). Le secteur tertiaire figure aussi sous l'appellation « Commerce et services ».

tep

La tonne équivalent pétrole (tep) est une unité conventionnelle permettant de réaliser des bilans énergétiques multi-énergies avec comme référence l'équivalence en pétrole. C'est l'énergie fournie par la combustion d'une tonne de pétrole 1 tep = 11,7 MWh = 42 GJ.

Contenu

Préambule	2
Introduction.....	2
Abréviations et termes techniques fréquents dans le dossier	2
Contenu	4
L'énergie en Chine en deux mots	6
Comment la consommation d'énergie a-t-elle évolué ces dernières années en Chine ?	6
Mise à jour	6
Comment la Chine fait-elle face à l'augmentation de la consommation d'énergie ?	6
Mise à jour	7
Les sources d'énergie primaire sont-elles proches des grands centres économiques en Chine ?	8
Quelle est l'évolution probable du mix énergétique en Chine ?	9
Quels sont les objectifs de la Chine pour la réduction des émissions de CO ₂ ?	10
Mise à jour	10
Quelles actions ont été menées en Chine pour réduire les émissions de CO ₂ ?	11
Mise à jour	12
La R&D chinoise sur les énergies propres	14
Quel est le rôle de la Chine dans le recherche mondiale sur les énergies propres ?	14
Mise à jour	14
Quelles sont les énergies propres testées en vraie grandeur en Chine ?	14
Quelle a été l'évolution de la R&D chinoise sur les énergies renouvelables ?	15
Le processus de l'innovation présente-t-il un profil particulier en Chine ?	16
Quelle est l'organisation en Chine du marché des énergies renouvelables ?	17
La Chine soutient-elle financièrement le développement énergies renouvelables ?	18
Mise à jour	18
Qu'est-ce que le US-China Clean Energy Research Center (CERC) ?	18
Mise à jour	19
Les technologies des énergies fossiles en Chine aujourd'hui et dans l'avenir	19
Quelles sont les centrales à charbon les plus efficaces ?	19
Mise à jour	19
L'efficacité des centrales à charbon augmente-t-elle rapidement en Chine ?	20
Mise à jour	20
Quelles ont été les grandes étapes de l'amélioration des centrales à charbon propres en Chine ?	21
Mise à jour	22
La Chine aura-t-elle recours au captage et stockage du CO ₂ émis par les centrales à charbon ?	22
Mise à jour	23
Où en sont les projets de conversion du charbon en Chine ?	23
Mise à jour	23
Qu'est-ce qui est fait en Chine pour réduire la pollution de l'air due aux énergies fossiles ?	23
Mise à jour	24
La Chine va-t-elle exploiter les ressources non-conventionnelles de gaz ?	24
Le nucléaire en Chine aujourd'hui et dans l'avenir	25
Quelles ont été les grandes étapes du nucléaire civil en Chine ?	25
Mise à jour	26
Quelles sont les particularités du cadre gouvernemental et réglementaire sur l'énergie nucléaire ?	27
Mise à jour	27
Quel est le savoir-faire chinois en matière de nucléaire ?	29
Mise à jour	29
Quel est le cycle du combustible nucléaire en Chine ?	29
Quelle a été la politique nucléaire chinoise après l'accident de la centrale de Fukushima ?	29
Mise à jour	30
Les énergies renouvelables en Chine aujourd'hui et dans l'avenir	30

Quelles sont les ressources de la Chine pour produire de l'électricité d'origine renouvelable ?	30
Quelles sont les ressources géothermiques de la Chine ?	31
La biomasse est-elle appelée à jouer un rôle important dans la politique énergétique de la Chine ?	31
La Chine atteindra-t-elle ses objectifs pour les énergies renouvelables ?	32
Mise à jour	32
Le réseau est-il suffisamment puissant pour distribuer toute l'électricité d'origine renouvelable ?	32
Qu'est-il prévu pour le développement du réseau de distribution de l'électricité ?	34
Mise à jour	34
La politique chinoise en faveur des énergies renouvelables est-elle bien classée au niveau mondial ? ..	34
Mise à jour	34
Références	36
Mise à jour	40

L'énergie en Chine en deux mots

Comment la consommation d'énergie a-t-elle évolué ces dernières années en Chine ?

En dix ans, la consommation d'énergie a augmenté de plus de 50 % en Chine ainsi que dans les autres pays de l'Extrême-Orient et du Moyen-Orient.

La Chine consomme plus d'énergie que les Etats-Unis depuis 2009.

La consommation par habitant a plus que doublé pendant cette période. Elle reste cependant très en dessous de celle de pays comme le Canada, la Norvège, les Etats-Unis ou l'Union européenne.

([44], [79])

Mise à jour

En 2015, la Chine était toujours le plus grand consommateur mondial d'énergie primaire (22,9 % de la consommation mondiale contre 22,8 % en 2014). Les Etats-Unis restaient les seconds malgré la diminution de leur consommation (17,3 % en 2015 contre 17,7 % en 2014) et l'Union européenne troisième (12,4 % contre 12,3 % en 2014).

En revanche, la Chine se rapproche de pays comme la Grèce et le Portugal si on prend la consommation d'énergie par habitant.

([113], [114])

Comment la Chine fait-elle face à l'augmentation de la consommation d'énergie ?

La Chine est obligée d'importer du pétrole et du gaz naturel. Bien qu'elle bénéficie d'une production de charbon suffisante pour couvrir ses besoins, la Chine importe environ 5 % du charbon qu'elle consomme (Figure 1).

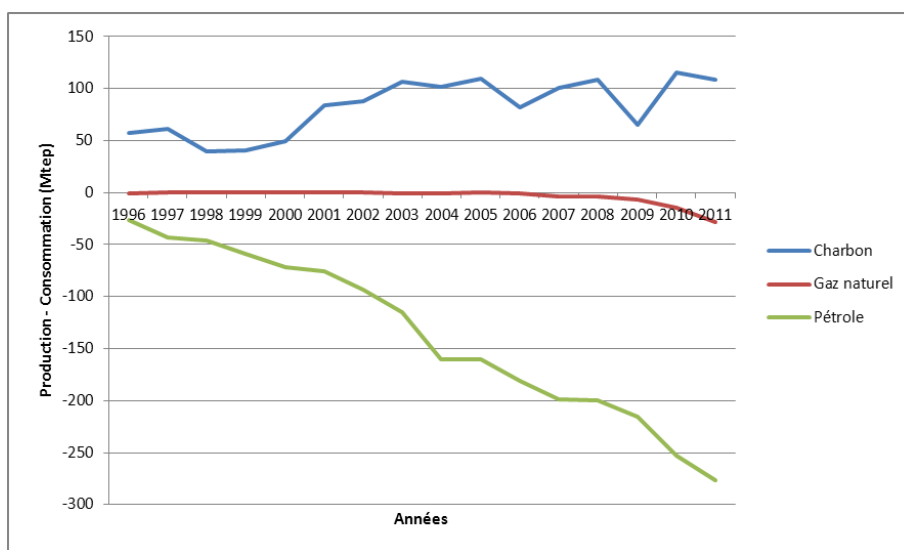


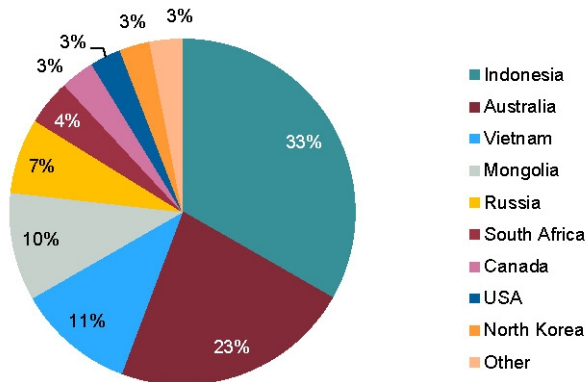
Figure 1. Ecart entre la production et la consommation d'énergie primaire en Chine ([44]).

Il semble que ceci résulte d'une combinaison de facteurs, le principal étant l'insuffisance des moyens de transport à l'intérieur du pays. Le scénario tendanciel prévoit que les importations fourniront en 2030 entre 23 % et 45 % du charbon consommé en Chine et que la moitié environ du commerce international du charbon sera destinée à la Chine.

La production de pétrole en Chine ne couvrait que 42 % de la consommation nationale en 2011 et cette proportion décroît de 5 % par an depuis plus de vingt ans. La Chine est devenue le troisième importateur de pétrole au monde, derrière l'Union européenne et les Etats-Unis. La Chine est le premier client de l'Arabie saoudite, devant les Etats-Unis. L'Iran est le troisième fournisseur de pétrole de la Chine et les experts occidentaux considèrent que c'est la principale raison du soutien diplomatique que la Chine apporte à ce pays (Figure 2).

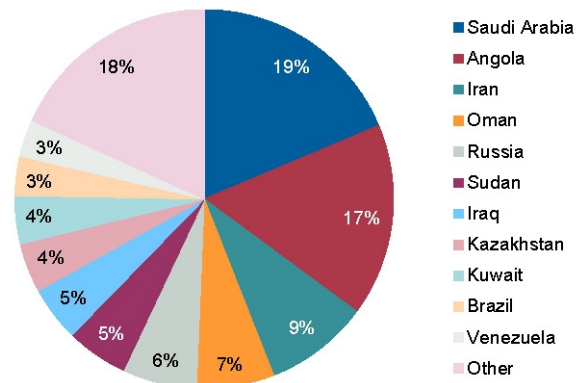
L'avenir du marché de l'énergie en Chine

China's Coal Imports (2010)



Total Coal Imports : 165 Mt

China's Crude Oil Imports (2010)



Total Crude Oil Imports: 239 Mt

Figure 2. Pays fournissant la Chine en énergie ([35]).

La dépendance vis-à-vis du gaz naturel reste négligeable car sa consommation est tout à fait marginale en Chine. Il n'y a pratiquement aucun échange transfrontalier d'électricité.

Mise à jour

La consommation de charbon de la Chine diminue depuis 2013 (Figure 3).

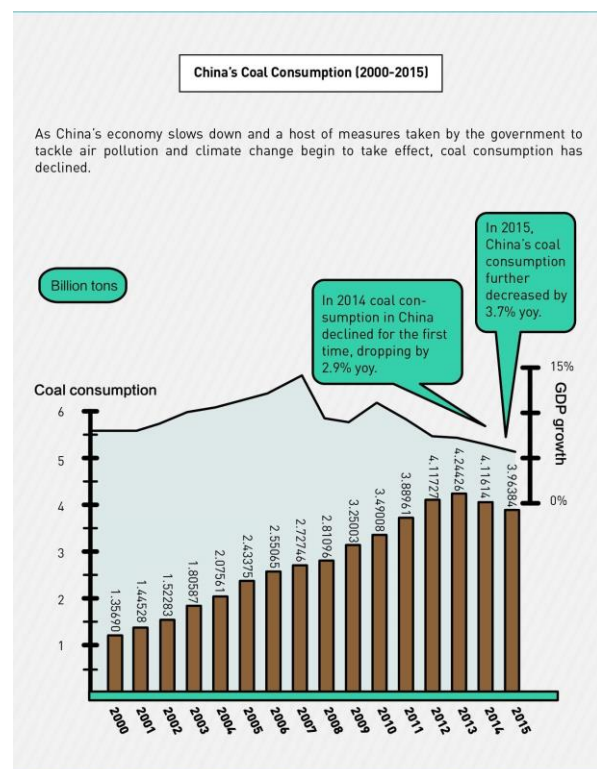
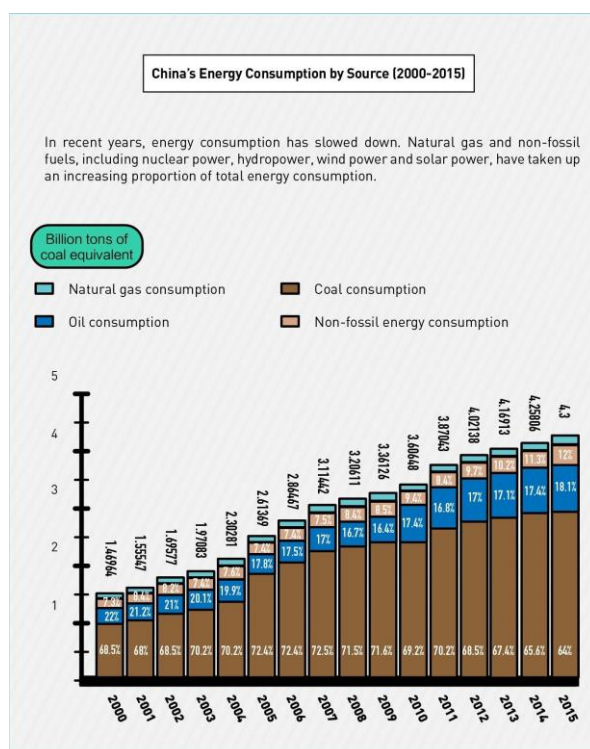


Figure 3. Le déclin du charbon dans le mix de la consommation d'énergie en Chine ([110]).

Une série de mesures accompagne cette baisse tendancielle :

- La réintroduction en octobre 2014 d'une taxe sur le charbon importé et une diminution des importations de charbon, la baisse ayant atteint 30 % entre 2014 et 2015.
- Une diminution de la production nationale qui pourrait atteindre 17 % de la capacité totale de la Chine avec une baisse des capacités d'extraction d'un milliard de tonne par an (ce qui nécessitera de

L'avenir du marché de l'énergie en Chine

redéployer plus de 1,2 million de mineurs de charbon...) (plan rendu public début 2016 par le China's National Energy Board).

- Le *Energy Development Strategy Action Plan* (2014-2020) fixe un plafonnement de la consommation d'énergie primaire à 4,8 milliards de tonnes d'équivalent charbon jusqu'en 2020, soit une croissance de la consommation limitée à 3,5 % par an.

On observe l'importance croissante de la Russie parmi les fournisseurs de la Chine en énergie primaire. Elle est passée du cinquième rang en 2010 au quatrième rang en 2012 pour le charbon et du cinquième rang au troisième rang pour le pétrole (Figure 4).

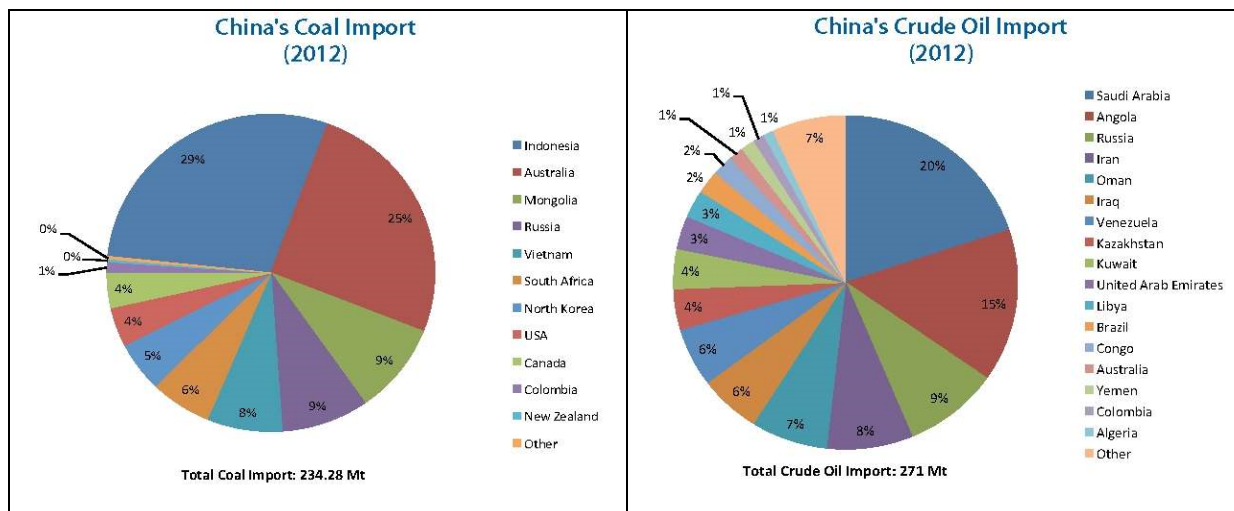
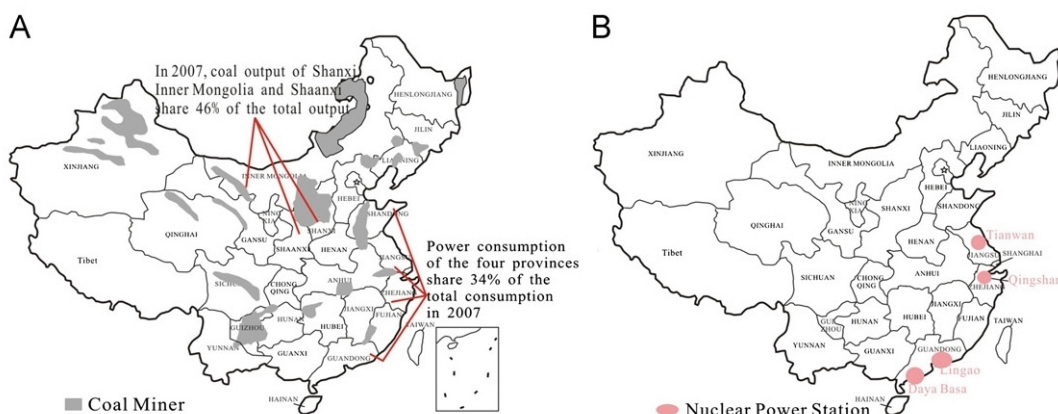


Figure 4. Pays fournisseurs de la Chine en énergie primaire ([89]).

([4], [35], [44], [60], [70] p. 329, [85], [89], [90], [91], [99], [109], [110])

Les sources d'énergie primaire sont-elles proches des grands centres économiques en Chine ?

Non. Le charbon est la source d'énergie primaire quasi-exclusive en Chine et les mines sont dans le Nord et le Nord-Ouest, très loin des provinces côtières du Sud-Est qui sont les grands centres économiques de la Chine. Au point que la croissance économique de la Chine est limitée par les capacités de transport de charbon. Le problème s'est aggravé récemment à cause du déplacement vers l'ouest des centres miniers (Figure 5).



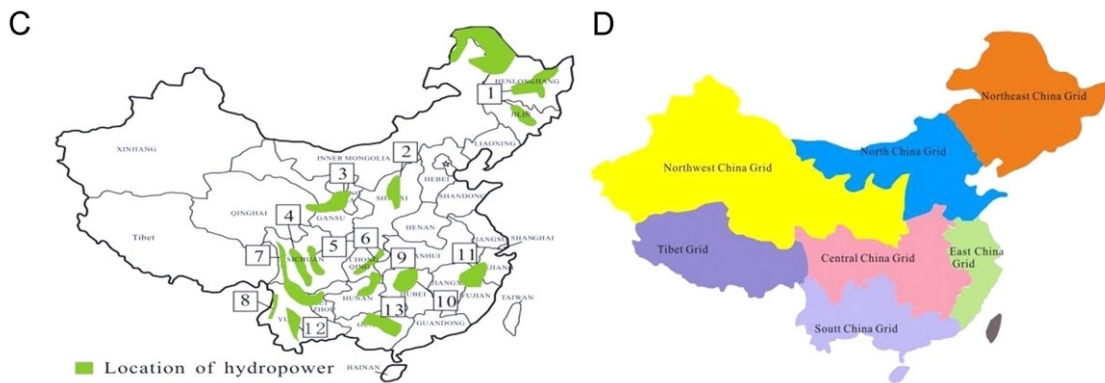


Figure 5. (A) localisation des mines de charbon ; (B) localisation des centrales nucléaires ; (C) localisation des centrales hydroélectriques ; (D) territoires couverts par les sept réseaux de distribution de l'électricité ([57]).

Jusqu'à la fin des années 1990, le transport du charbon se faisait par le train et par la route (le charbon représente la moitié du trafic ferroviaire de marchandises). Ces modes de transport ne suffisent plus et le charbon arrive maintenant dans les provinces côtières du Sud-Est par bateau après avoir été transporté par train jusqu'aux ports du Nord-Est. Il est envisagé dans l'avenir d'utiliser plus le transport fluvial, notamment sur le Yangzi Jiang (le fleuve qui traverse Shanghai), mais cette voie est déjà extrêmement chargée (Figure 6).



Figure 6. Transport de charbon par péniches sur le Yangzi Jiang à Shanghai en janvier 2013.

Une autre solution est de transporter de l'électricité plutôt que du charbon. Un vingtième seulement de l'énergie provenant de l'Ouest de la Chine arrive sous forme d'électricité dans les provinces côtières. La proportion pourrait atteindre un quart en 2020 si les objectifs du *Strong and Smart Grid Plan* sont atteints. Actuellement 24 des 31 provinces chinoises subissent régulièrement des pannes importantes car les capacités d'approvisionnement sont insuffisantes.

([5], [22], [37] p. 56, [40], [57])

Quelle est l'évolution probable du mix énergétique en Chine ?

Les points les plus marquants sont : 1) la consommation totale d'énergie aura plus que doublé d'ici 2030, 2) la part du charbon dans le mix énergétique diminuera fortement. Elle était de 73 % en 2005 et elle tombera en-dessous de 50 % en 2050 dans les deux scénarios (Tableau 1).

Année	Scénario	Consommation totale Mtep	Composition du mix énergétique (en %)			
			Charbon	Gaz naturel	Pétrole	Electricité primaire + autres renouvelables
2005	Année de référence	1572	73	3	21	3
2030	CIS	3649	58	7	26	9
	AIS	3133	50	8	29	13
2050	CIS	3837	47	7	28	17
	AIS	3191	30	7	30	32

Tableau 1. Evolution probable de la consommation d'énergie primaire en Chine selon les perspectives du Lawrence Berkeley National Laboratory ([15] p. 32).

La part du pétrole devrait augmenter à cause du développement rapide des transports. Il devrait être responsable des deux tiers de la demande de pétrole vers 2050 (c'est à peu près le pourcentage observé actuellement aux Etats-Unis).

La consommation d'électricité continuera à augmenter dans les décennies à venir car elle est tirée par la croissance du secteur tertiaire et de l'urbanisation (79 % des Chinois devraient habiter en ville en 2050 alors que la moitié d'entre eux vivaient encore à la campagne en 2011). Les immeubles commerciaux devraient consommer un tiers de l'électricité en 2050.

([7], [15] p. xiii, pp. 25-28, p. 32, [43], [79])

Quels sont les objectifs de la Chine pour la réduction des émissions de CO₂ ?

L'augmentation de la concentration de CO₂ est due aux pays occidentaux. Les émissions de CO₂ par habitant sont beaucoup plus faibles en Chine que dans l'Union européenne ou aux Etats-Unis (Figure 7).

Ceci n'empêche pas la Chine d'avoir une politique dynamique pour les économies d'énergie et la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

En 2009, la Chine s'est officiellement engagée à réduire ses émissions de CO₂ par rapport au PIB (c'est-à-dire l'intensité en carbone) de 40-45 % par rapport au niveau de 2005. Elle a aussi pris l'engagement d'utiliser plus d'énergies non fossiles, celles-ci devraient représenter 15 % de la consommation d'énergie primaire en 2020. Ceci est conforme aux attentes de la *Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques* (CCNUCC).

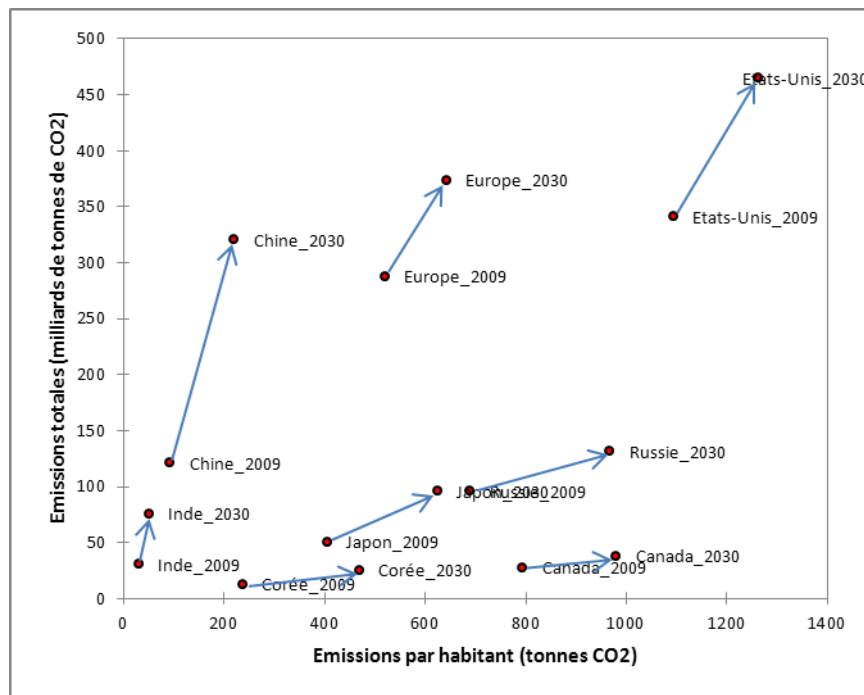


Figure 7. Production cumulée des émissions de CO₂ dues à la consommation d'énergie de 1900 à 2009 (origine des flèches) et de 1900 à 2030 (pointe des flèches) ([25] p. 235).

Mise à jour

Les Chinois sont convaincus qu'ils vont atteindre et même dépasser les objectifs fixés par le 13^e Plan quinquennal (2016-2020) (Figure 8).

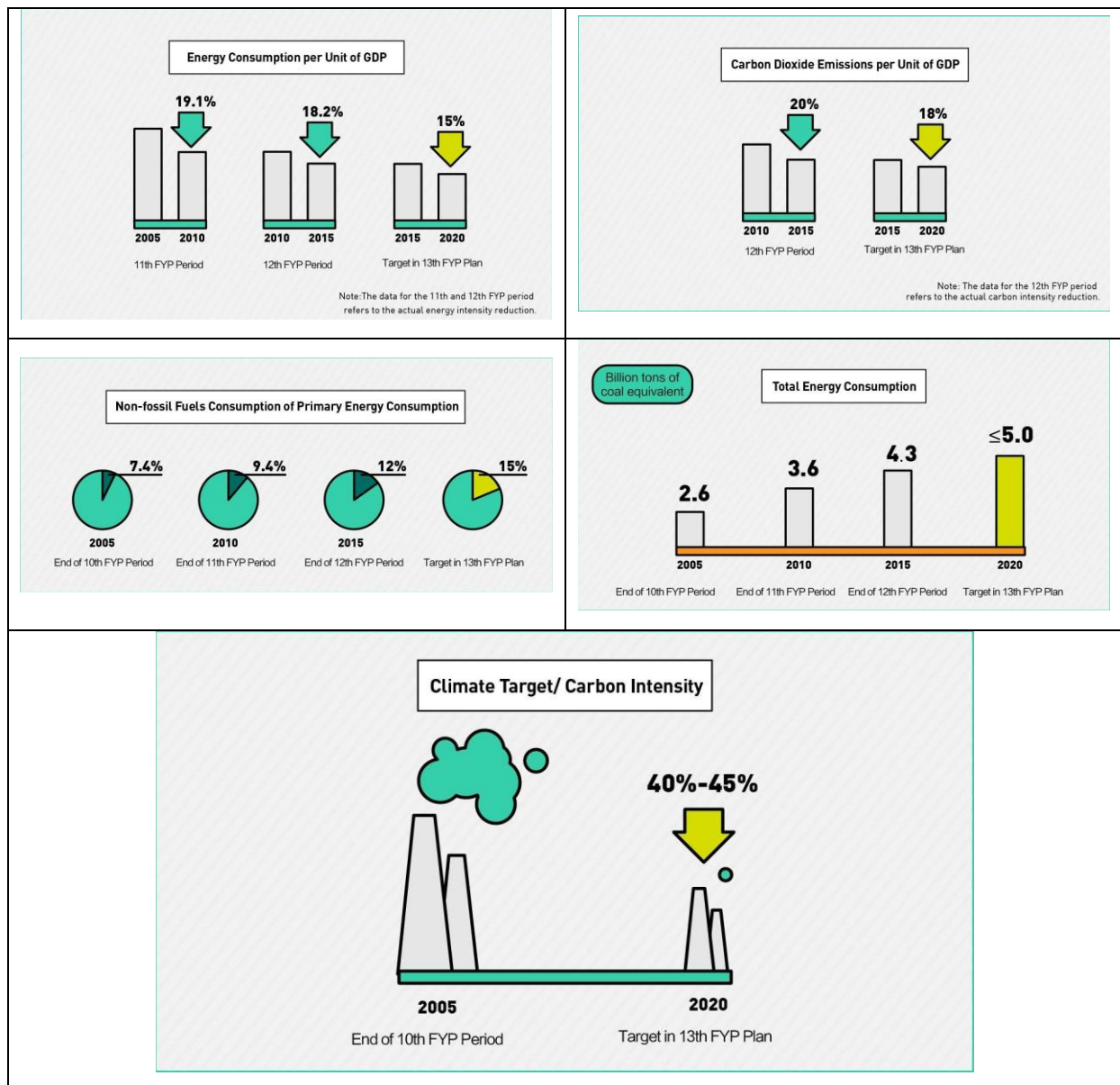


Figure 8. Les objectifs du 13^e Plan quinquennal (2016-2020) pour l'énergie et la réduction des émissions de gaz à effet de serre ([110]).

En novembre 2014 la Chine et les Etats-Unis ont signé la *Joint Announcement on Clean Energy and Climate Change* dans laquelle la Chine promet que les combustibles non-fossiles fourniront 20 % de sa consommation d'énergie primaire en 2030. La Chine s'est aussi engagée à réduire d'ici 2030 ses émissions de carbone de 60 à 65 % par rapport au niveau de 2005, ce qui correspond à son *Intended Nationally Determined Contributions* (INDC).

Le mix énergétique de la Chine sera complètement bouleversé si tous ces engagements sont tenus.

([25] p. 235, [64] pp. 4-9, [69], [98], [106], [108], [110])

Quelles actions ont été menées en Chine pour réduire les émissions de CO₂ ?

Le 11^e Plan quinquennal chinois comportait un volet sur les économies d'énergie et la diminution des émissions de gaz à effet de serre. De nombreux programmes ont démarré à cette époque (Tableau 2). Les principaux portaient sur l'amélioration des installations industrielles les plus énergivores (programmes *Ten Key Projects* et *Top-1000*) et la fermeture des petits sites (petites centrales électriques, cimenteries, sidérurgie et production de coke).

Programme	Economies d'énergie primaire (en Mtep)	Réduction des émissions (en MtCO ₂)
Ten Key Projects	188	743
Efficacité énergétique des bâtiments	78	348
<i>Chevauchement Ten Key Projects & Efficacité des bâtiments</i>	<i>-78</i>	<i>-348</i>
Top-1000 des entreprises énergivores	91	235
<i>Chevauchement Ten Key Projects & Top-1000</i>	<i>-22</i>	<i>-67</i>
Fermeture des petits sites industriels	83	222
Normes des appareils	55	167
Programmes des provinces et divers	802	2973
Total	1196	4273

Tableau 2. Les différents programmes sur les économies d'énergie pendant la période 2006-2008 ([13]).

La Chine a participé aussi au programme « mécanisme de développement propre » des Nations Unies.

Le programme résulte du Protocole de Kyoto : Une entreprise d'un pays développé investit pour une amélioration technologique dans un pays en développement et comptabilise dans son propre pays la réduction d'émission de CO₂ (en quotas d'émission par exemple). La Chine est le principal bénéficiaire de ce programme. Il lui a permis de moderniser plus rapidement sa production d'énergie et de réduire les émissions de CO₂.

L'intérêt pour la Chine est triple : 1) attirer des investisseurs étrangers pour le développement des énergies renouvelables ; 2) identifier des secteurs innovants pour limiter les émissions de gaz à effet de serre ; 3) acquérir une expertise de niveau international dans le contrôle des émissions de gaz à effet de serre.

Mise à jour

Le programme *Top-1000* a été étendu lors du 12^e Plan quinquennal (2011-2015) pour couvrir 85 % de la consommation du secteur industriel, ce qui représente les deux-tiers de la consommation chinoise d'énergie (programme *Top-10.000*), le but étant d'économiser 250 Mtec pendant la durée du Plan (soit 175 Mtep) (Figure 9).

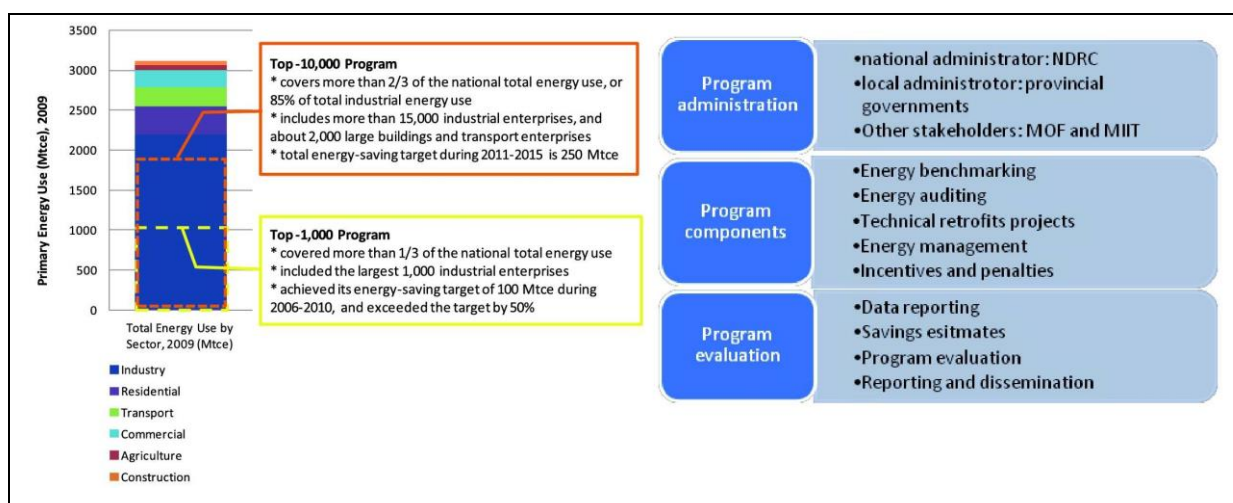


Figure 9. Couverture (à gauche) et structure (à droite) du programme Top-10.000 ([86]). NDRC = National Development and Reform Commission; MOF = Ministry of Finance; MIIT = Ministry of Industry and Information Technology.

Parallèlement aux politiques axées sur la conservation de l'énergie, le gouvernement a publié de très nombreux documents sur les sources d'énergie renouvelables (le lecteur intéressé en trouvera une présentation dans la référence [88]). La mise en œuvre de ces politiques est le fait d'une pléthore de structures officielles (Figure 10).

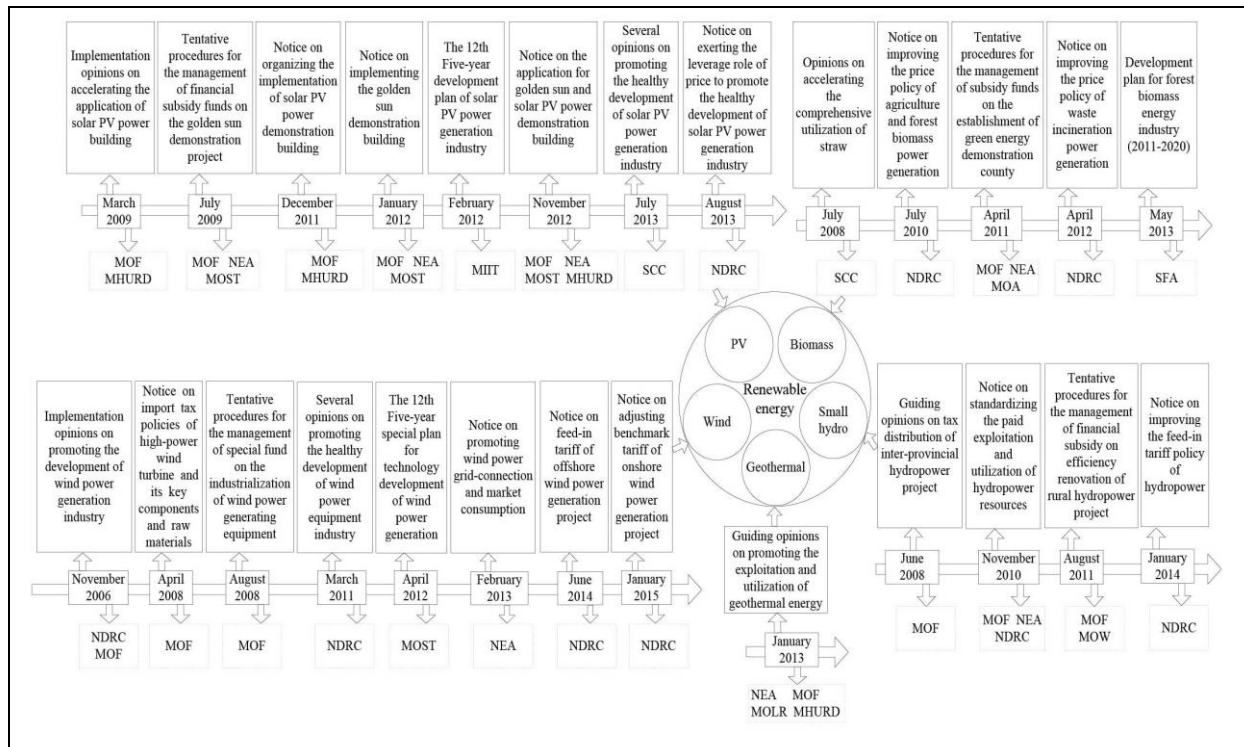


Figure 10. Les politiques incitatives, les règlements et les installations industrielles concernant la production d'énergies renouvelables en Chine ([104]). State Council of China (SCC), Ministry of Finance (MOF), National Development and Reform Commission (NDRC), National Energy Administration (NEA), Ministry of Housing and Urban-Rural Development (MHURD), Ministry of Science and Technology (MOST), Ministry of Industry and Information Technology (MIIT), Ministry of Agriculture (MOA), State Forestry Administration (SFA), Ministry of Land and Resources (MOLR), General Administration of Customs of China (GACC), State Administration of Taxation (SAT), State Electricity Regulatory Commission (SERC), and Ministry of Water Resources (MOW).

La croissance de la production d'énergies renouvelables est d'environ 15 % par an (Figure 11).

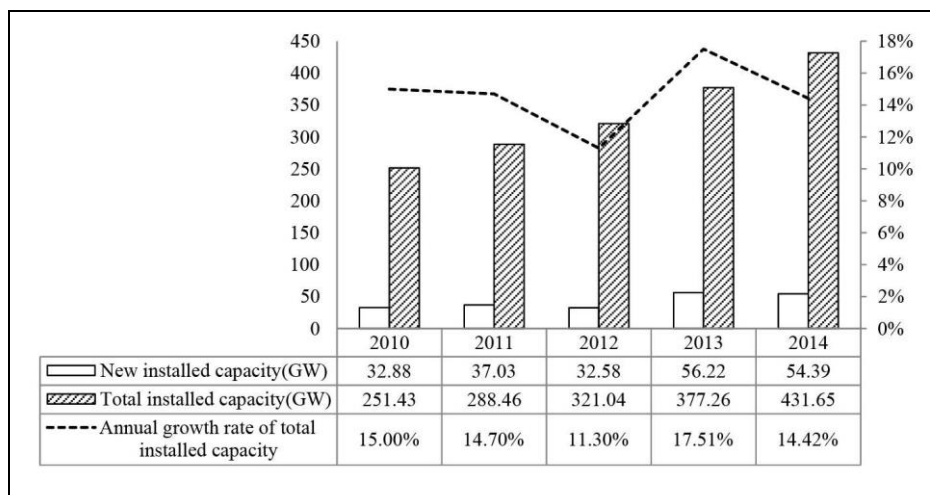


Figure 11. Croissance de la capacité installée de production d'énergies renouvelables en Chine pendant la période 2010-2014 ([104]).

Le Energy Development Strategy Action Plan (2014-2020) a été publié en 2014. L'objectif du Conseil des affaires d'Etat est de favoriser une production et une consommation d'énergie verte plus efficace, plus innovante afin d'atteindre l'autosuffisance.

([13], [52], [65] pp. 4-5, [86], [88], [104])

La R&D chinoise sur les énergies propres

Quel est le rôle de la Chine dans la recherche mondiale sur les énergies propres ?

La Chine a tendance à avoir une approche plus ouverte en matière d'innovation que les pays occidentaux et elle teste plus volontiers les nouvelles technologies. De plus, elle n'a pas toujours la technologie et le savoir-faire nécessaires dans le domaine des énergies propres. Elle a donc opté pour l'importation de technologies, en offrant par exemple aux entreprises étrangères la possibilité d'exécuter des tests à grande échelle en Chine, celle-ci utilisant en contrepartie les technologies qui sont ainsi mises au point.

Le passage de la R&D à la démonstration de la faisabilité technique et économique est une étape cruciale du processus de l'innovation. En effet, dans les pays occidentaux les industriels répugnent à adopter une technologie qui n'a pas fait ses preuves car les premières installations sont généralement peu fiables et très coûteuses.

C'est ce que le PDG d'une grande entreprise américaine travaillant sur les énergies propres résumait par *The technology was developed here, tested in China and is now finding a market here*. La Chine y gagne un accès direct aux technologies les plus innovantes.

Par exemple, la société chinoise *State Nuclear Power Technology Corporation* construit les premiers réacteurs nucléaires utilisant la technologie AP1000 de *Westinghouse*. L'expérience acquise sert d'argument à *Westinghouse* pour obtenir la construction de réacteurs AP1000 aux Etats-Unis. Par ailleurs, *Westinghouse* et *State Nuclear Power Technology Corporation* ont créé une coentreprise (une *joint-venture*) pour construire des réacteurs plus puissants dérivant de l'AP1000. La société chinoise possède une partie de la propriété intellectuelle sur ces nouveaux réacteurs.

Mise à jour

Le programme AP1000 a pris du retard, il n'était pas opérationnel lorsque ce dossier a été mis à jour.

Début 2016, le réacteur de troisième génération CAP1400 a passé avec succès l'*International Atomic Energy Agency's (IAEA's) Generic Reactor Safety Review*. Il s'agit d'un réacteur dont la propriété intellectuelle appartient à la société chinoise *State Nuclear Power Technology Corporation*. Il dérive de ceux de *Westinghouse*.

Les travaux de l'Académie des sciences de Chine sur la production d'énergie nucléaire à partir du thorium bénéficient d'un programme de recherche de 2,5 milliards de yuans (380 millions de dollars).

([29], [41], [45], [68], [98], [101], [111])

Quelles sont les énergies propres testées en vraie grandeur en Chine ?

Les démonstrateurs installés en Chine portent sur la plupart des thèmes de recherche sur les énergies propres (Tableau 3).

Catégorie	Technologie	Etat d'avancement des projets	
		11e Plan (2006-2010)	12e Plan (2011-2015)
Centrales à charbon propres	Ultra-supercritique (USC)	USC de 1000 MW	USC fonctionnant à 700 °C
	Cycle combiné à gazéification intégrée (IGCC)	IGCC de 250 MW	IGCC de 400-500 MW
	Lit fluidisé circulant (CFB)	SC-CFB 600 MW	
Conversion Charbon-Essence (CTL)	Conversion directe	1 Mtep	
	Conversion indirecte	0,16 Mtep	
Conversion Charbon-Gaz	Gazéification		1,35 milliard de mètres cubes
	Hydrométhanation		0,85 milliard de mètres cubes
Captage et stockage du CO ₂	Captage pré-combustion	100 kt CO ₂ par an couplé avec la conversion de charbon en essence	
	Stockage dans des aquifères salins	Trois projets (respectivement 3kt, 10 kt et 120 kt CO ₂ par an)	
	Injection dans des puits de pétrole	100 kt CO ₂ par an	0,5 à 1 Mt CO ₂ par an

Catégorie	Technologie	Etat d'avancement des projets	
		11e Plan (2006-2010)	12e Plan (2011-2015)
	Injection dans des mines de charbon	Essai dans les mines du Qinshui	
Energie nucléaire	Réacteurs à haute température Réacteur AP1000 Réacteurs à neutrons rapides Petits réacteurs modulaires	Réacteur de 20 MW	Réacteur de 200 MW Réacteur de 1250 MW Programmé
Energie solaire	Photovoltaïque Héliothermodynamique	Centrale de 10 MW	Centrale de 100 MW Trois projets (respectivement 50 MW, 100 MW et 300 MW)
Energie éolienne		Commercialisation de turbines de 1,5 à 3 MW	Ferme offshore avec des turbines de 6 MW
Biomasse	Cogénération chaleur+électricité Biocarburants	Commercialisation de centrales de 25 à 50 MW Conversion manioc en éthanol (200 000 tonnes par an)	Conversion de la cellulose en éthanol
Véhicules à énergie propre	Véhicule électrique Carburants alternatifs Véhicules hybrides	Nombreux essais dans les grandes villes Nombreux essais de biocarburants et de gaz liquéfié Divers essais	
Couplage de plusieurs sources d'énergies renouvelables	Eolien + solaire Hydroélectricité + solaire		Centrale de 100 MW Centrale de 10 MW
Réseau de distribution de l'électricité			Lignes de 1000 kV en courant continu
Réseau de distribution de l'électricité "intelligent"			Programmé

Tableau 3. Essais en Chine sur les technologies avancées des énergies propres pendant la période 2006-2015 ([68]).

([68])

Quelle a été l'évolution de la R&D chinoise sur les énergies renouvelables ?

Par rapport au milieu des années 1990, les grandes et moyennes entreprises chinoises ont augmenté leurs dépenses de R&D et fortement diminué leurs achats de technologies (Figure 12).

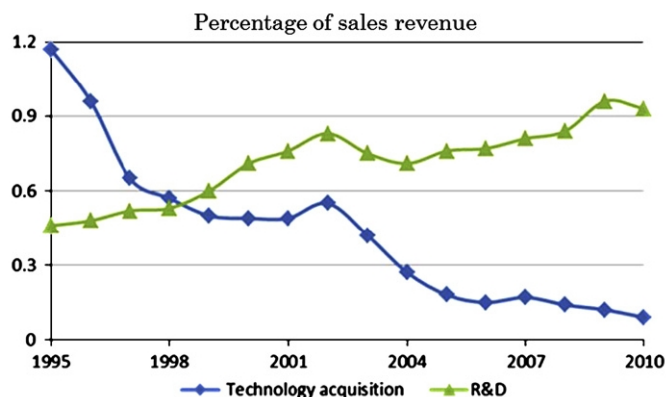


Figure 12. Evolution des dépenses de R&D et d'achats de technologie dans les grandes et moyennes entreprises chinoises (en pourcentage du chiffre des ventes) ([68]).

Les entreprises financent 74 % du budget de la R&D en Chine. Par conséquent, la R&D porte principalement sur une maîtrise approfondie des technologies importées et la production d'inventions dérivées. Les recherches scientifiques plus fondamentales continuent à être menées dans les pays développés ou dans des entreprises étrangères installées en Chine.

Par exemple en 2010, sept compagnies étrangères figurent parmi les dix compagnies qui ont déposé le plus de brevets en Chine sur l'éolien et elles se partagent 83 % des brevets (la Figure 13 donne les chiffres dans le cas des éoliennes). Les entreprises chinoises ont tendance à déposer des modèles d'utilité.

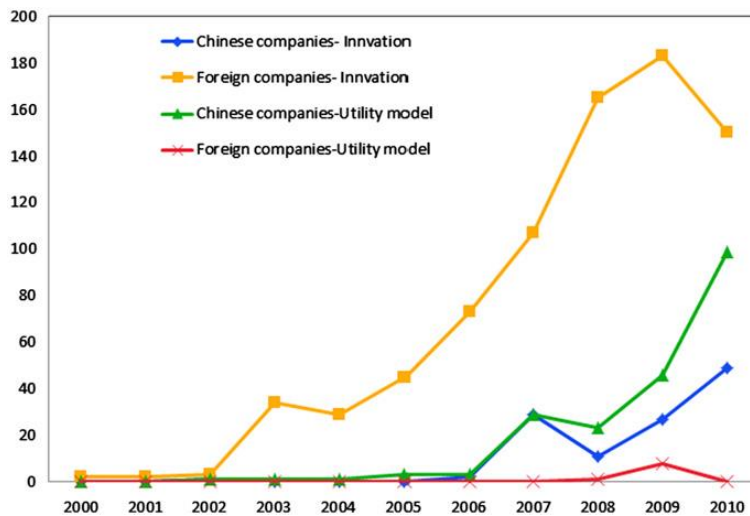


Figure 13. Nombre et origine des brevets sur les éoliennes en Chine entre 2000 et 2010 (31). *Utility model* : la protection par modèle d'utilité est souvent demandée pour des innovations à caractère plutôt complémentaire, qui ne remplissent pas éventuellement les critères de brevetabilité (les trois critères de brevetabilité sont la nouveauté, l'application industrielle, l'activité inventive).

([21], [31], [68])

Le processus de l'innovation présente-t-il un profil particulier en Chine ?

Oui. Le processus de l'innovation suit un cheminement particulier en Chine, et ceci n'est pas propre aux énergies renouvelables. Le secteur de l'énergie éolienne en donne toutefois un bon exemple.

On distingue quatre phases dans le développement de l'innovation (Figure 14) :

1. dans les années 1970-1996, les activités de R&D étaient poussées par le gouvernement,
2. de 1997 à 2003, l'innovation était basée sur l'amélioration des technologies importées (innovation secondaire),
3. de 2004 à 2007, le savoir-faire chinois était suffisant pour que s'établisse une coopération avec les entreprises étrangères tant pour la conception que pour la production (conception collaborative, coentreprises – *joint-venture* en anglais),
4. depuis 2008 l'innovation chinoise est devenue plus autonome grâce à l'internationalisation des entreprises et à la mondialisation de leur R&D.

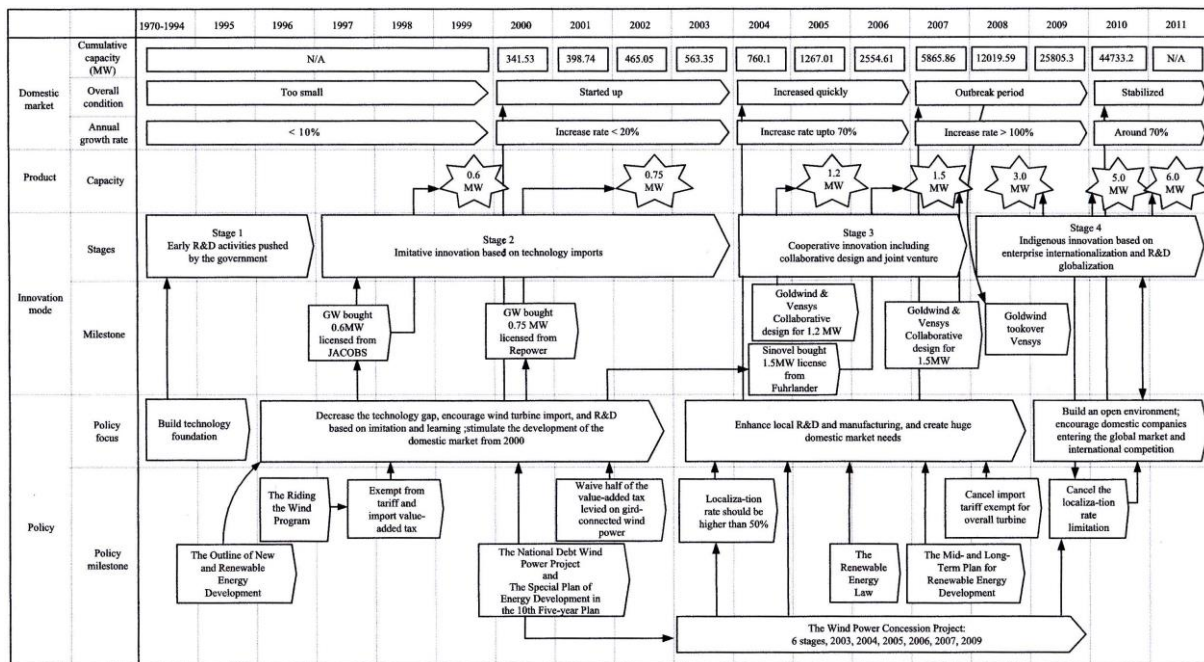


Figure 14. La dynamique entre les capacités technologiques, le mode d'innovation, la croissance du marché et la politique de l'énergie éolienne en Chine ([21]). Goldwind (GW) – Chine ; Jacobs – Etats-Unis ; Repower – Allemagne ; Sinovel – Chine ; Vensys – Allemagne.

L'analyse de la création de l'industrie de l'énergie éolienne en Chine est intéressante car ce pays occupe une place remarquable dans le marché mondial de l'énergie éolienne : 1) il y a quatre entreprises chinoises parmi les dix premiers constructeurs mondiaux d'éoliennes (chiffres 2010) ; 2) la Chine est le second producteur mondial d'énergie éolienne derrière l'Union européenne et devant les Etats-Unis (respectivement 97 GW, 63 GW et 47 GW en 2011).

([21], [26] p. 82, p. 98)

Quelle est l'organisation en Chine du marché des énergies renouvelables ?

Le prix de vente de l'électricité est fixé par les pouvoirs publics. Un prix d'achat garanti compense plus ou moins l'écart avec le prix de revient (*Feed-in Tariffs*).

Le secteur hydroélectrique appartient à l'Etat.

Bien que le marché soit en théorie ouvert, les entreprises appartenant à l'Etat ont de fait le monopole de la production d'électricité éolienne.

Les grands projets d'électricité photovoltaïques sont cofinancés par la Chine, des gouvernements étrangers (ex : Allemagne, Japon, Canada) et des organismes internationaux (ex : Banque mondiale).

La production d'électricité à partir de la biomasse est le marché le plus ouvert : 39 % pour les cinq plus grandes sociétés de production de l'électricité appartenant à l'Etat (les Big Five) ; 27,5 % pour les sociétés privées et les investisseurs étrangers ; 23,5 % pour les autres sociétés appartenant à l'Etat ; 10 % pour les sociétés appartenant aux collectivités locales. C'est aussi le marché le plus rentable.

Le bioéthanol est fabriqué dans cinq usines appartenant à une holding regroupant une grande société de l'agro-business et deux grandes compagnies pétrolières appartenant à l'Etat. La fabrication du biodiesel est beaucoup plus dispersée. Le marché est partagé entre trois grandes compagnies pétrolières appartenant à l'Etat et de nombreuses petites entreprises privées.

L'industrie des chauffe-eau solaires comporte 3 000 entreprises, les dix premières se partageant un quart du marché.

Il n'y a pas de marché du biogaz : les agriculteurs produisent 85 % du biogaz et leur équipement a été financé par les pouvoirs publics.

L'avenir du marché de l'énergie en Chine

([24], [36], [37] p. 56, [50], [51], [53])

La Chine soutient-elle financièrement le développement énergies renouvelables ?

Le développement rapide des énergies renouvelables nécessitera des centaines de milliards de dollars d'ici 2020. Les très grandes sociétés appartenant à l'Etat sont en pratique les seules bénéficiaires des fonds mobilisés par le gouvernement central (*China Development Bank*) ou les organismes internationaux (*Banque mondiale*, *Asia Development Bank*). Les autres sociétés n'ont accès qu'aux conditions bien moins avantageuses des banques commerciales (prêts à court terme avec des taux d'intérêt de 6 à 8 % au lieu de prêts à long terme à des taux de 3 à 4 %).

L'Etat a aussi créé tout un environnement réglementaire et financier favorable, dont des crédits d'impôts et des prix d'achat garanti (*Feed-in Tariffs*). Les collectivités territoriales ont leur propre système de soutien aux énergies renouvelables. Les aides peuvent porter sur le prix du terrain et les taxes foncières. Les provinces peuvent aussi avoir leur propre prix d'achat garanti (Figure 15).

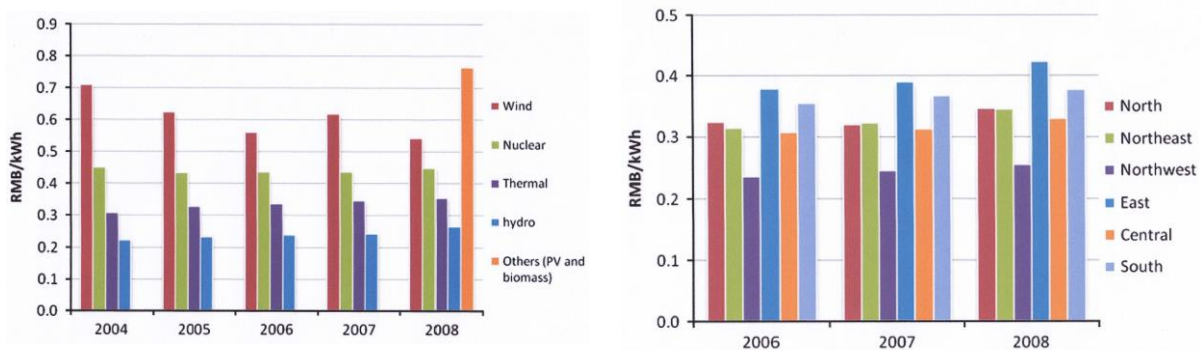


Figure 15. Prix de l'électricité en fonction du mode de production et de la zone géographique en Chine ([14]). 1 RMB = 0,16 dollars = 0,12 euros.

Malgré tout, si la production d'électricité éolienne peut parfois être rentable, ce n'est jamais le cas du photovoltaïque. Pour pallier le déficit, une taxe supplémentaire est appliquée depuis 2012 à toutes les ventes d'électricité.

Il existe une exception notable à cette politique générale de subventions : les chauffe-eau solaires. Ils ont simplement été rendus obligatoires pour les nouveaux immeubles et il est exceptionnel que les pouvoirs publics locaux accompagnent cette obligation d'une aide financière. C'est aussi le seul cas où le retour sur investissement est rapide.

Mise à jour

Les tarifs d'achat de l'électricité renouvelable ont diminué début 2016, suite à la baisse des coûts d'exploitation. La production d'énergie photovoltaïque reste malgré tout fortement subventionnée, surtout dans les régions peu peuplées et dans les zones arides de la Chine occidentale.

([14], [36], [37] pp. 87-90, [58], [59], [66], [100])

Qu'est-ce que le US-China Clean Energy Research Center (CERC) ?

En 2009, le président américain et le président chinois ont annoncé la création de l'*US-China Clean Energy Research Center* (CERC). Le CERC a pour mission de renforcer la collaboration dans le domaine de la R&D sur les énergies propres. Les Etats-Unis et la Chine le financent à égalité, les financements américains allant aux chercheurs américains et les financements chinois aux chercheurs chinois.

Le budget de départ est de 150 millions de dollars sur cinq ans. Il devrait augmenter grâce aux apports des industriels.

Les thèmes prioritaires de l'*US-China Clean Energy Research Center* (CERC) sont :

1. le charbon propre (efficacité énergétique, réduction des émissions polluantes, captage et stockage du CO₂)
2. l'efficacité énergétique des bâtiments (connaissance approfondie de la consommation d'énergie dans l'habitat, création de dispositifs innovants pour le confort thermique et l'éclairage)
3. le véhicule propre (voiture électrique, matériaux innovants)

Dans tous les cas la R&D inclut la construction de démonstrateurs. Un comité *ad hoc* permet aux industriels de donner leur avis sur la pertinence des travaux financés par le CERC.

Il est prévu dans les trois cas des recherches sur l'intérêt économique et l'acceptabilité sociale des inventions.

Mise à jour

Le programme des CERC a été renouvelé pour la période 2016-2020 et son champ d'application élargi. Il inclut maintenant tout ce qui concerne l'eau dans la production et la consommation d'énergie. Les financements publics seront de 200 millions de dollars sur cinq ans.

([42] pp. 2-4, pp. 10-21, pp. 40-117, [80], [96])

Les technologies des énergies fossiles en Chine aujourd'hui et dans l'avenir

Quelles sont les centrales à charbon les plus efficaces ?

Il existe de nombreuses façons d'estimer l'efficacité d'une centrale à charbon. On peut prendre par exemple le coût de production de l'électricité, la quantité de charbon consommé, les émissions de CO₂, les autres émissions de polluants (ex : oxydes de soufre et d'azote). Le Tableau 4 donne une estimation de ces différentes grandeurs. Les chiffres varient en fonction des sources, ne serait-ce que parce qu'ils dépendent de la qualité du charbon utilisé.

Globalement les centrales ultra-supercritiques et les centrales à cycle combiné à gazéification intégrée (IGCC) sont les plus efficaces.

Types de centrales	technologie sous-critique	technologie supercritique	technologie ultra-supercritique	cycle combiné à gazéification intégrée (IGCC)
Puissance	300 MW	600 MW	1000 MW	600 MW
Efficacité énergétique	34 à 38 %	38 à 41 %	43 à 45 %	38 à 44 %
Gaz à effet de serre (équivalent kg CO ₂ /MWh)	872 à 931	746 à 830	720 à 738	731 à 832
Emissions de SO ₂ (kg/MWh)	1,03	0,97	0,90	0,10
Emissions de NO ₂ (kg/MWh)	0,54	0,50	0,47	0,39
Coût de l'électricité (chiffres 2007 en \$/MWh)	48,4	47,8	46,9	51,3

Tableau 4. Efficacité énergétique, émissions polluantes, montant de l'investissement et coût de production de l'électricité en fonction de la technique et de la puissance des centrales à charbon ([8] p. 19, p. 30, [48], [54]). Le coût de production de l'électricité correspond à la situation aux Etats-Unis.

Les centrales à charbon sous-critique, supercritique et ultra-supercritique diffèrent par la température et la pression de la vapeur d'eau qui entraîne la turbine : respectivement 560 °C et 180 bars, 575 °C et de 221 bars et plus de 600 °C et de 300 bars. Les centrales ultra-supercritiques les plus avancées dépassent 700 °C et une pression de 375 bars.

Les centrales à charbon IGCC fonctionnent sur un tout autre principe. L'oxydation partielle du charbon produit un gaz composé d'oxyde de carbone (CO) et d'hydrogène qui alimente une centrale à gaz à cycle combiné.

Mise à jour

La technologie IGCC n'est pas au point : "IGCC [...] The problem is the technology is not ready for commercialization and it's still very expensive".

([3], [8] pp. 17-42, [48], [54], [87], [98])

L'efficacité des centrales à charbon augmente-t-elle rapidement en Chine ?

Oui. Depuis le onzième plan quinquennal (2005-2010), la Chine privilégie l'installation de centrales à charbon plus efficaces et moins polluantes et ferme les anciennes centrales (*Guideline for Building Large Ones and Shutting down Small Ones*).

Fin 2012, la moitié du parc était constitué de centrales de 600 MW et plus (technologies supercritique et ultra-supercritique) (Tableau 5).

Date de fabrication	moins de 300 MW sous-critique	entre 300 et 600 MW sous-critique	entre 600 et 1000 MW supercritique	plus de 1000 MW ultra-supercritique	%
1984-1996	19	43	6	0	25
1997-2003	6	41	15	0	23
2004-2011	2	28	85	27	52
%	10	41	39	10	

Tableau 5. Composition du parc des centrales à charbon en Chine en 2012 ([75]).

La puissance installée a plus que doublé entre 2005 et 2011 et elle a triplé entre 2002 et 2011 (2002 : 37,9 GWe ; 2005 : 59,6 GWe ; 2011 : 128,7 GWe).

Depuis 2008, les centrales chinoises sont en moyenne plus efficaces et émettent moins de CO₂ que les centrales américaines (Figure 16).

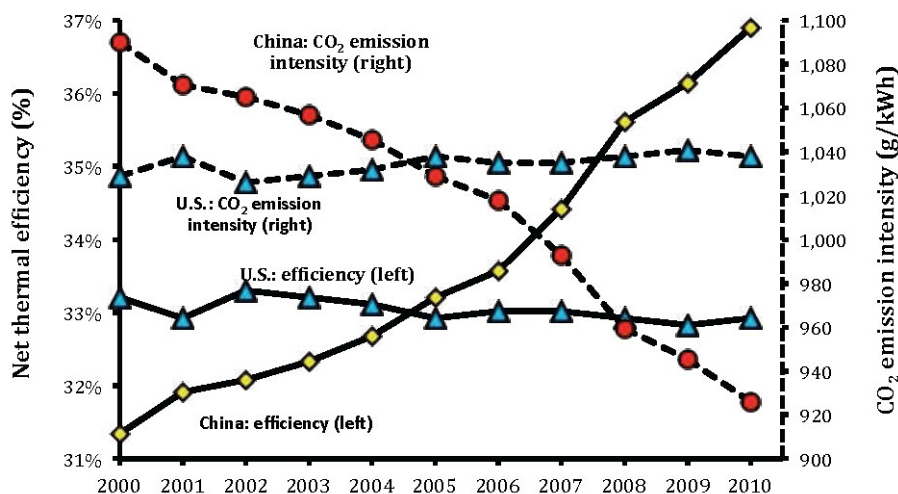


Figure 16. Efficacité énergétique (à gauche) et intensité en carbone (à droite) des centrales à charbon en Chine et aux États-Unis ([25] p. 278).

Mise à jour

Le rendement des centrales à charbon reste inférieur aux attentes des responsables chinois : “Over 80% of power stations in China are powered by coal and the efficiency is rather low, mostly around 36%–40% and the better ones up to 47%”.

Les efforts ont porté sur la construction de centrales supercritiques ou ultra-supercritiques (Tableau 6).

Date de construction	moins de 300 MW sous-critique	entre 300 et 600 MW sous-critique	entre 600 et 1000 MW supercritique	plus de 1000 MW ultra-supercritique	%
1984-1996	19	43	6	0	24
1997-2003	6	41	15	0	22
2004-2011	2	28	85	27	50
2012-2013	2	0	6	4	4
%	11	49	39	11	

Tableau 6. Composition du parc des centrales à charbon opérationnelles en Chine en 2014 d'après “Global Energy Observatory” ([75] en août 2016).

Il semblerait que la Chine construise plus de centrales à charbon qu'il n'en figure dans le Tableau 6, mais que la plupart ne sont pas utilisées. D'ailleurs, certains considèrent que l'accumulation continue des centrales électriques au charbon représente une bulle d'investissement qui va éclater car la surcapacité devient trop importante pour être ignorée. Ceci se traduit notamment par une baisse du taux d'utilisation des centrales à charbon malgré l'augmentation de la production d'électricité (Figure 17).

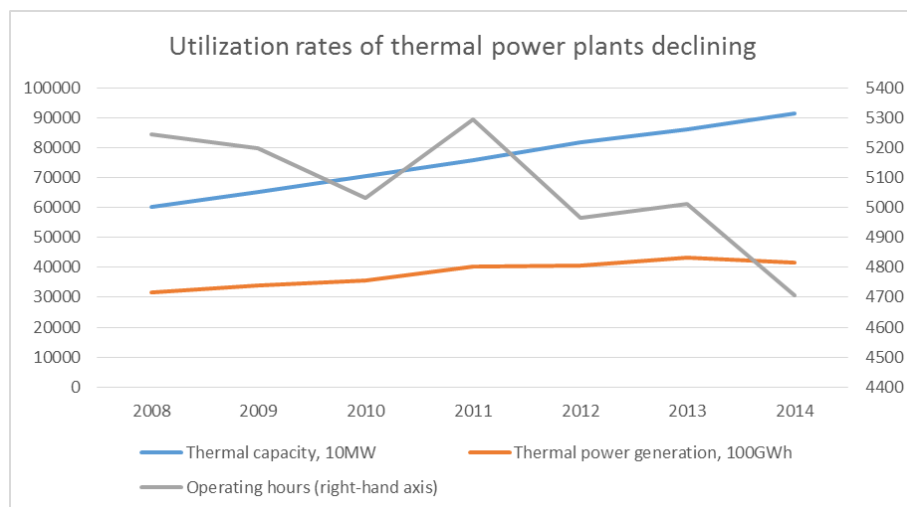


Figure 17. Baisse du taux d'utilisation des centrales à charbon en Chine ([92]).

([25] p. 278, [48], [54], [75], [92], [98])

Quelles ont été les grandes étapes de l'amélioration des centrales à charbon propres en Chine ?

L'amélioration des centrales à charbon a suivi le même cheminement que le reste de l'innovation en Chine (cf. le chapitre précédent). La technologie est achetée à une entreprise étrangère, puis l'entreprise chinoise acquiert un savoir-faire suffisant pour l'améliorer (innovation secondaire). Cette étape est suivie de la création d'une coentreprise entre les deux sociétés (*joint-venture*) avec la mise en commun de la conception et de la construction.

On retrouve ces phases à chaque changement de technologie dans les centrales à charbon (sous-critique, supercritique et ultra-supercritique) (Tableau 7).

Technologie	Années	Origine de la technologie	Pays fournisseur
sous-critique	1980	Importation	Etats-Unis
	1989	Coopération avec les entreprises étrangères pour la conception et la construction	
supercritique	1992	Importation	Suisse
	2000		Japon
	2004	Coopération avec les entreprises étrangères pour la conception et la construction	
ultra-supercritique	2003	Importation	Japon + Allemagne
	2006	Coopération avec les entreprises étrangères pour la conception et la construction	

Tableau 7. Les grandes étapes de l'amélioration des centrales à charbon en Chine ([17]).

Le Tableau 8 montre la diversité des partenaires des trois principaux constructeurs chinois de centrales ultra-supercritique. La coopération prend généralement la forme d'une licence d'exploitation, mais on observe dans certains cas la création d'une coentreprise (*joint-venture*).

Compagnies chinoises	Chaudière		Turbine		Générateur	
	Société	Contrat	Société	Contrat	Société	Contrat
Shanghai Electric	Alstom	licence	Siemens	coentreprise	Siemens	coentreprise
Harbin Electric / supercritique	Mitsui Babcock	licence	Mitsubishi	licence	Toshiba	licence
Harbin Electric / ultra-supercritique	Mitsubishi	licence	Toshiba	licence	Toshiba	licence
Dongfang Electric	Babcock-Hitachi	coentreprise	Hitachi	licence	Hitachi	licence

Tableau 8. Origine des technologies et mécanismes de coopération entre les trois principaux constructeurs chinois de centrales à charbon ultra-supercritiques et les compagnies étrangères qui ont fourni les technologies ([17]).

Le consortium *Greengem* associe les plus grandes entreprises chinoises de production d'électricité et de charbon, l'Etat chinois et une société américaine (le plus grand producteur mondial de charbon de droit privé). Il a pour objectif d'évaluer la faisabilité économique d'une centrale à charbon à cycle combiné à gazéification intégrée couplée avec le captage du CO₂. Une centrale de 250 MW a commencé à fonctionner en avril 2012. La construction d'une centrale de 400 MW ayant un système complet de captage et stockage du CO₂ est prévue pour 2015-2020.

Mise à jour

En 2014, la centrale de 250 MW a passé avec succès les tests standards de 72 heures de fonctionnement continu et de 24 heures de fonctionnement à pleine charge. Elle a fonctionné à haute capacité pendant 29 jours consécutifs.

Nous n'avons pas trouvé d'informations précises sur l'avancement du projet de centrale de 400 MW.

([17], [32], [87])

La Chine aura-t-elle recours au captage et stockage du CO₂ émis par les centrales à charbon ?

Le douzième Plan quinquennal chinois (2011-2015) n'a pas retenu le captage et le stockage de CO₂ (CCS) pour limiter les émissions de CO₂ car la technique ne sera pas opérationnelle à court terme.

La Chine mène une recherche active sur le CCS. Elle est à peu près au niveau de l'Union européenne pour le nombre de brevets déposés (Tableau 9).

Pays	Brevets (en %)
Japon	27,7
Etats-Unis	23,5
Union européenne	13,5
Chine	11,1

Tableau 9. Origine des brevets portant sur le captage du CO₂ ([71]).

Mais il existe en effet une différence de taille considérable entre les installations pilotes fonctionnant actuellement et les projets envisagés par de nombreux pays, dont la Chine. Et il ne s'agira encore que de démonstrateurs (Tableau 10).

Pays	Opérationnel		Projets	
	Nombre	Puissance	Nombre	Puissance
Union européenne	5	14 MW - 48 MW	7	250 MW – 1 200 MW
Etats-Unis	4	1 MW - 30 MW	9	60 MW – 1 000 MW
Chine	1	24 MW	2	250 MW - 350 MW
Australie	1	30 MW	-	-
Norvège	-	-	1	400 MW

Tableau 10. Puissance des centrales à charbon couplées à des installations de captage et de stockage du CO₂ (situation en février 2012) ([76]).

Cette situation s'explique en grande partie par le surcoût du CCS. Dans le contexte actuel, le CCS ne devient rentable que si les émissions sont taxées à 70 dollars la tonne de CO₂. On en est loin. En Chine la tonne de CO₂ coûte une quinzaine de dollars dans les zones soumises au système des quotas d'émission de CO₂ et à la taxe carbone.

Mise à jour

L'avenir du CCS est fortement compromis par la faible taxation des émissions de CO₂. En 2015, les prix étaient compris entre 9 RMB et 42 RMB la tonne (de 1,4 à 6,5 dollars). Selon les spécialistes, ils devraient être entre 33 et 55 RMB la tonne en 2016 (5,1 à 8,5 dollars).

Une offre excédentaire de quotas d'émission est la principale cause de ces coûts très bas.

([61], [62], [65], [71], [73], [74], [76], [102])

Où en sont les projets de conversion du charbon en Chine ?

La Chine a une forte R&D sur la conversion du charbon car elle possède d'importantes réserves de charbon et peu de pétrole ou de gaz naturel. Cependant les projets n'ont pas dépassé le niveau du démonstrateur (Tableau 11).

Produit final	Nombre de projets	Capacité de production totale à terme (en Mtep/an)
Gaz naturel synthétique (syngas)	4	13,5
Carburant	6	1,9
Matières premières pour l'industrie chimique	3	1,0

Tableau 11. Installations fonctionnant ou en projet pour la conversion du charbon en gaz, en carburant ou en matières premières pour l'industrie chimique ([18]).

Il y a différentes raisons à cela : 1) la différence entre les cours du charbon, du pétrole et du gaz est devenue trop faible pour que de telles opérations soient rentables ; 2) les mines sont dans des régions arides alors que la conversion du charbon consomme énormément d'eau (il faut quinze tonnes d'eau pour produire une tonne de méthanol et dix tonnes pour une tonne de carburant).

Le gouvernement central a revu à la baisse les ambitions du début des années 2000 et le douzième plan quinquennal (2011-2015) met l'accent sur un renforcement de la R&D. En revanche les gouvernements des provinces minières continuent à souhaiter l'implantation de grands projets car ils y voient un moyen de développer l'économie locale. Leurs projets n'ont pratiquement aucune chance d'aboutir à cause des besoins en eau.

Pour mémoire, la Chine a consommé 75 Mtep de gaz naturel et 433 Mtep de carburants en 2010.

Mise à jour

La conversion du charbon ne figure pas en tant que telle dans le 13^e Plan quinquennal (2016-2020). L'Etat donne la priorité à la faible intensité en carbone et à la lutte contre la pollution. Il privilégie pour cela la production d'électricité car il est possible d'augmenter l'efficacité des très grosses centrales et de limiter leurs émissions polluantes.

Malgré tout, les gouvernements des provinces minières continuent à voir dans la conversion du charbon une solution à la crise que connaît le charbonnage chinois. En effet, le charbonnage chinois est en crise depuis 2012 : le prix du charbon chute d'années en années et la demande a même diminué en 2014 malgré une restriction des importations. En 2014, 70 % des sociétés chinoises productrices de charbon étaient dans le rouge et plus de la moitié avaient des difficultés à payer les salaires.

La Chine a consommé 155 Mtep de gaz naturel et 590 Mtep de carburants en 2015.

([2], [12], [18], [37] pp. 69-73, [46], [91], [113])

Qu'est-ce qui est fait en Chine pour réduire la pollution de l'air due aux énergies fossiles ?

La Chine a fait beaucoup de progrès dans l'amélioration de la qualité de l'air depuis les débuts des années 2000, mais la pollution reste malgré tout très élevée (Figure 18).

Les centrales électriques sont responsables de 45 % de la pollution de l'air par les oxydes de soufre et les particules. Ceci est dû à l'absence fréquente de dispositif de dépollution de la fumée : en 2011, 14 % des centrales à charbon chinoises étaient équipées d'un système d'élimination des oxydes d'azote (NO_x) et 20 % des

centrales n'avaient pas de système d'élimination des oxydes de soufre (SO_x). Les autres industries fortement polluantes (ex : sidérurgie, cimenterie) n'ont pas progressé depuis le début des années 2000.

Les premières réglementations visant à réduire la pollution atmosphériques datent du onzième Plan quinquennal (2006-2010). L'objectif initial a été largement dépassé : la réduction du SO_x a atteint 14 % au lieu des 10 % programmés. Le onzième Plan quinquennal ne comportait aucun objectif pour le NO_x .

L'objectif du douzième plan quinquennal (2011-2015) est de réduire de 10 % les émissions de NO_x et de diminuer de 8 % supplémentaires les émissions de SO_x des centrales thermiques. Les industriels se sont publiquement opposés à ces mesures. Ils considèrent qu'ils n'ont pas les moyens d'investir dans l'équipement nécessaire. Le débat a lieu à un moment où les cinq plus grands producteurs d'électricité ont perdu trois milliards de dollars car le charbon a augmenté de 150 % et le prix d'achat garanti de l'électricité de 32 %.

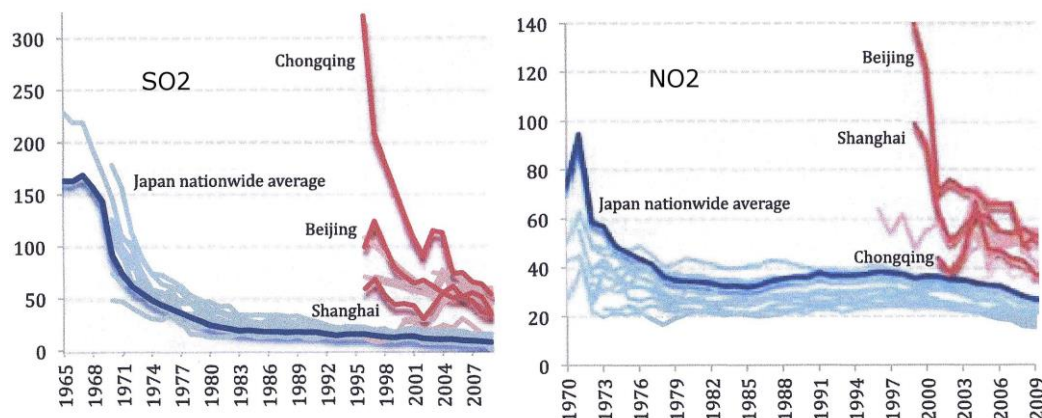


Figure 18. Concentration moyenne annuelle du SO_2 (à gauche) et du NO_2 (à droite) dans les dix plus grandes villes du Japon et de Chine de 1970 à 2009 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ([25] p. 251).

Mise à jour

En 2013, l'Etat a publié le *Action Plan for Air Pollution Prevention and Control*. Les objectifs sont ambitieux. Le Plan prévoit qu'ils seront atteints dès 2017.

Le 13^e Plan quinquennal (2016-2020) fixe les objectifs à atteindre en 2020 pour l'énergie et le contrôle de la pollution (Tableau 12).

	12 th Five-Year Plan's Targets (compared to 2010)	12 th Five-Year Plan's Achievements (compared to 2010)	13 th Five-Year Plan's Targets (compared to 2015)
Energy Intensity (Energy Consumption per Unit of GDP)	-16%	-18.2%	-15%
Carbon Intensity (Carbon Emissions per Unit of GDP)	-17%	-20%	-18%
Non-Fossil Fuel Percentage	11.4%	12%	15%
Sulfur Dioxide (SO_2)	-8%	-18%	-15%
Nitrogen Oxides (NO_x)	-8%	-18.6%	-15%
Ammonia Nitrogen	-10%	-13%	-10%
Chemical Oxygen Demand (COD)	-10%	-12.9%	-10%
Forest Coverage	21.7%	21.63%	23.04%

Tableau 12. Résultats du 12^e Plan quinquennal (2010-2015) et objectifs du 13^e Plan quinquennal (2016-2020) ([107]).

([6], [25] p. 251, [27], [33], [37] pp. 56-57, [43], [48], [107])

La Chine va-t-elle exploiter les ressources non-conventionnelles de gaz ?

Les ressources de combustibles fossiles non-conventionnels en Chine sont mal connues, mais les spécialistes estiment qu'elles devraient être abondantes (Figure 19). Ils considèrent qu'en 2015 la production annuelle pourrait atteindre 27 Mtep de gaz de réservoirs ultracompacts (*tight gas*), 5 Mtep de gaz de schiste (*shale gas*) et 11 Mtep de méthane de gisements houillers (*coal bed methane* et *coal mine methane*).

On en est loin. Fin 2010 la production de méthane des gisements houillers n'atteignait que 30 % des objectifs du onzième Plan quinquennal. Il y a un problème de répartition des droits entre propriétaires des mines et producteurs de gaz et il n'y a pas assez de gazoducs.

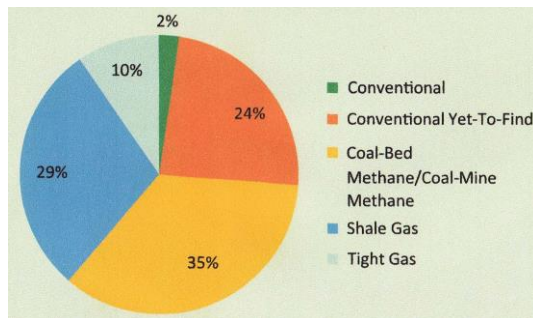


Figure 19. Ressources de la Chine en gaz non-conventionnels. Le total des réserves est estimé à 92 000 Mtep ([37] p. 63).

La Chine n'a pas d'expérience dans l'exploitation du gaz de schiste. D'autant que le problème est compliqué. Il est difficile d'envisager la fracture hydraulique car les gisements sont dans des régions arides.

La Chine cherche à acquérir un savoir-faire en s'associant à de grands groupes étrangers. Des accords existent avec plusieurs compagnies américaines et, plus récemment, avec Total. Il s'agit à chaque fois de créer une coentreprise avec une compagnie pétrolière chinoise pour explorer les gisements et les exploiter. En droit chinois, il est exclu qu'une compagnie étrangère exploite seule des ressources fossiles localisées en Chine.

Une alternative est de prendre le contrôle de compagnies étrangères qui ont l'expérience de l'exploitation des combustibles non-conventionnels. C'est pourquoi la Chine a très fortement investi dans des sociétés canadiennes en 2011 et 2012.

([28], [34], [37] p. 36, pp. 46-47, pp. 58-59, pp. 62-65, [49], [70] pp. 341-344)

Le nucléaire en Chine aujourd'hui et dans l'avenir

Quelles ont été les grandes étapes du nucléaire civil en Chine ?

Le nucléaire civil a été créé en Chine dans les années 1970 à partir du savoir-faire acquis dans le programme nucléaire militaire.

La Chine a signé son premier accord de coopération internationale dans le domaine du nucléaire civil en 1978. C'était avec la France. Elle a rejoint l'*International Atomic Energy Agency* en 1983. Depuis 1994 la Chine met en service un réacteur nucléaire par an en moyenne (Figure 20).

Le marché est dominé par *China Guangdong Nuclear Power Group (CGNPC)*, *China National Nuclear Corporation (CNNC)* et *China Power Investment Corporation (CPIC)* (la « nuclear troika »).

Toutes les centrales sont localisées dans les provinces côtières et refroidies à l'eau de mer.

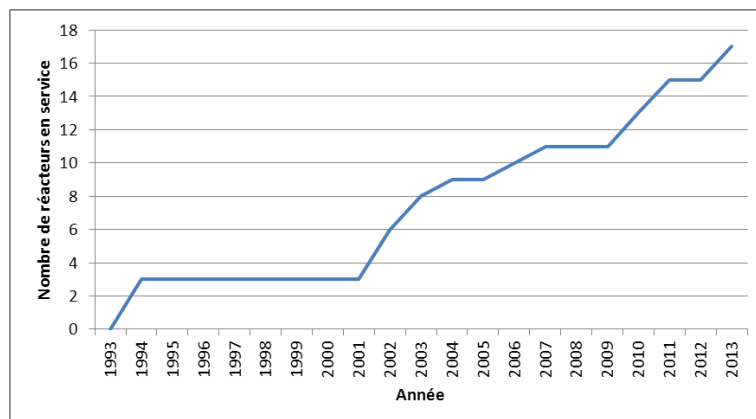


Figure 20. Nombre de réacteurs nucléaires en service en Chine ([82]).

En 1983 les négociations franco-chinoises ont couplé la construction des centrales à un transfert de technologies. La première centrale a été largement conçue et construite par la France. Elle est entrée en service en 1994.

La Chine décida alors la construction de trois nouvelles centrales nucléaires. Les marchés furent attribués à la France, au Canada et à la Russie. Elles ont été mises en service en 2002, 2003 et 2006. Le marché avec la France prolongeait l'accord de 1983 alors que les deux autres portaient sur des installations clé en main.

En 2007 la Chine a signé avec les Etats-Unis, la France et la Russie pour la construction de réacteurs nucléaires de troisième génération et le transfert des technologies correspondantes.

Elle continue cependant à construire des réacteurs classiques pour répondre aux besoins à court terme (28 réacteurs étaient en chantier en 2013).

Mise à jour

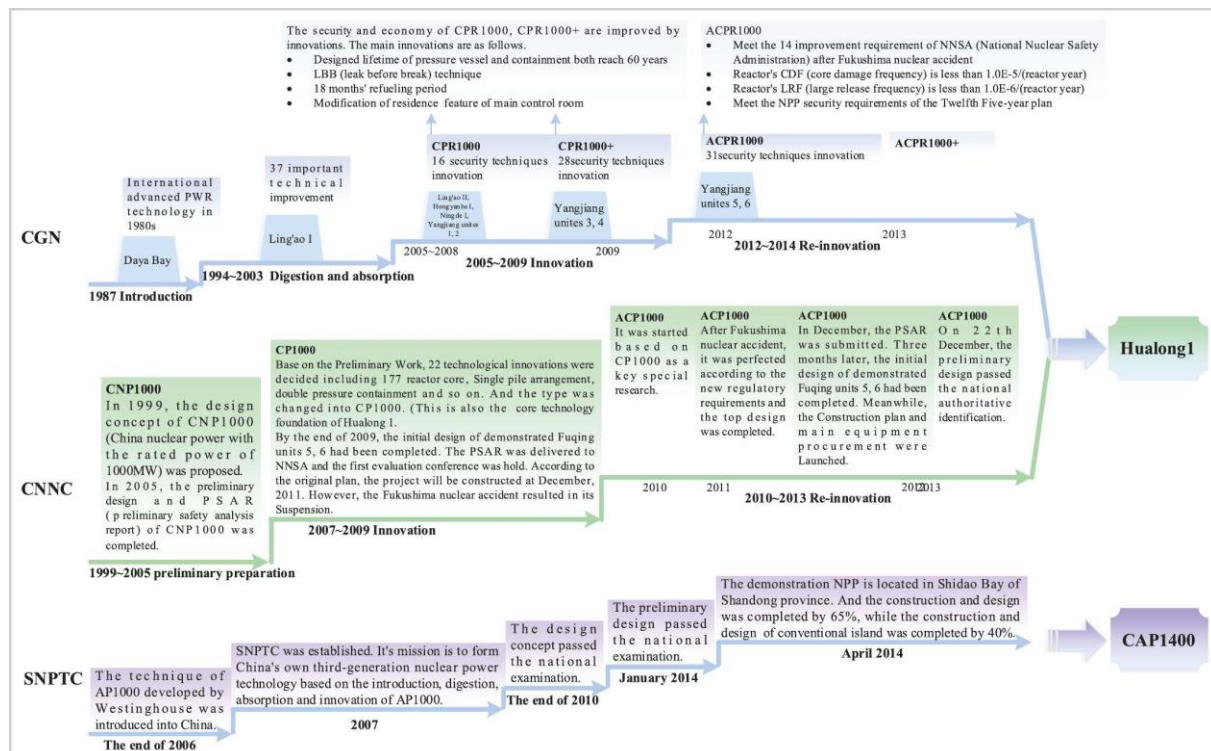


Figure 21. Historique du développement de l'industrie nucléaire chinoise ([103]). CGN: Guangdong Nuclear Power Group, CNNC: China National Nuclear Corporation, SNPTC: In May 2015, China Power Investment Corporation (CPI) merged with State Nuclear Power Technology Company (SNPTC) to form State Power Investment Corporation (SPIC).

La Figure 21 résume le développement de l'industrie nucléaire chinoise à partir du savoir-faire importé à la fin des années 1990.

Début 2016, le réacteur de troisième génération CAP1400 a passé avec succès l'*International Atomic Energy Agency's (IAEA's) Generic Reactor Safety Review*. Il s'agit d'un réacteur dont la propriété intellectuelle appartient à la société chinoise *State Nuclear Power Technology Corporation*. Il dérive de ceux de Westinghouse.

Le nombre de centrales nucléaires en activité en 2015 va de 23 à 34 selon les sources d'information. Une vingtaine serait en construction (Figure 22).

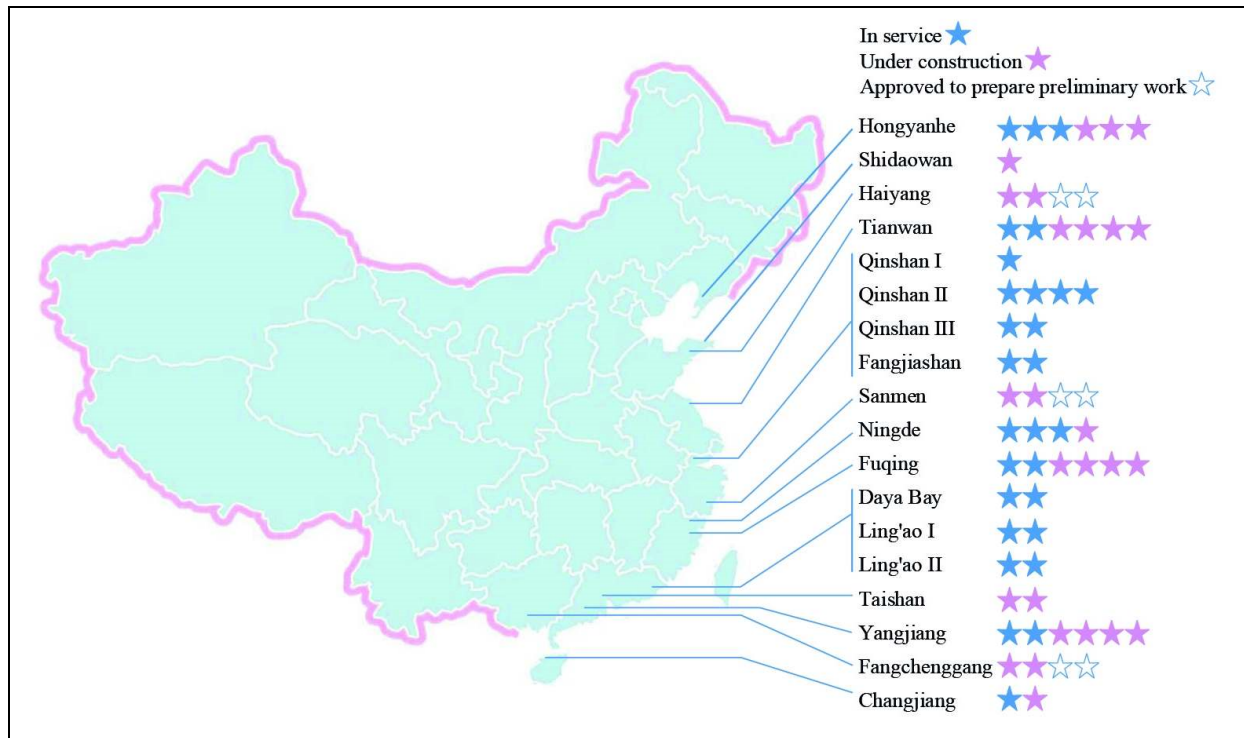


Figure 22. Répartition des centrales nucléaires en Chine fin 2015 ([103]).

([20], [38], [41], [82], [84], [97], [101], [103], [115])

Quelles sont les particularités du cadre gouvernemental et réglementaire sur l'énergie nucléaire ?

La politique et les relations diplomatiques jouent un rôle important dans le nucléaire civil (la construction d'une centrale russe VVER peu de temps après l'accident de Tchernobyl en est un exemple). Ceci explique la pluralité des technologies dans le parc actuel de réacteurs (il y avait neuf technologies différentes en 2013). Avec comme conséquence une faiblesse de la normalisation et des règles de sécurité.

La planification, l'approbation et l'autorisation des réacteurs nucléaires résultent toujours de processus complexes. C'est particulièrement vrai en Chine à cause du grand nombre d'organisations gouvernementales concernées. La difficulté est aggravée par les chevauchements de compétence et le flou des domaines de responsabilité.

En plus des problèmes organisationnels, il y a l'influence des hommes politiques sur les différentes institutions. Le problème n'est pas propre à la Chine, mais il y est peut-être exacerbé par le poids du Parti communiste. Souvent, les chefs des grandes entreprises sont à la fois nommés par le Premier ministre du Conseil d'Etat (c'est le cas par exemple du président et du vice-président de CNNC) et haut placés dans la hiérarchie du Parti. Cela peut conduire à des situations où le président d'une structure de réglementation a un rang inférieur au président de la société qu'il est censé contrôler.

On imagine volontiers que l'existence d'un parti unique facilite la cohérence des décisions et leur mise en œuvre à l'échelle de toute la Chine. En réalité, la fragmentation des centres de décision (au niveau national et local) et des avis divergents entre eux conduisent à des politiques quelque peu contradictoires.

On retrouve ce type de difficultés dans le secteur pétrolier.

Mise à jour

On comptait fin 2015 une douzaine de types de réacteurs nucléaires en activité ou en construction.

Le Tableau 13 présente les décisions politiques les plus importantes pour le développement de l'énergie nucléaire civile en Chine.

Date of issue	Document names	Departments	Main contents
2000.10	<i>Advice on formulating the tenth five-year plan for national economy and social development by the Central committee of the communist party of China</i>	Politburo standing committee	Make full use of the existing power generation capacity. Develop hydropower, thermal power beside the pithead. Compress small thermal power. Develop nuclear power moderately.
2007.10	<i>Long-term nuclear power development plan (2005–2020)</i>	NDRC (National development and reform commission)	Work out long-term nuclear power development plan and route; promote nuclear power construction actively. Propose that the total nuclear power installed capacity in operation reaches to 40GW and the annual power generation amount reaches to 260-280 billion kWh by year 2020.
2011.3	<i>The twelfth five-year plan on china's economic and social development</i>	NDRC	Promote diverse and clean development of energy; emphasize on the safe and efficient development of nuclear power; focus on the development of nuclear power in the eastern coastal and central region.
2011.3	<i>State council executive meeting</i>	State council	Terminate the approval of nuclear power project including projects proceeding preliminary work considering the Fukushima nuclear accident.
2012.5	<i>The "twelfth five-year plan" of nuclear safety and radioactive pollution prevention and the vision of 2020</i>	State council	(1) encourage safe and efficient development of nuclear power in energy structure; (2) formulate tax policies favourable to nuclear power: entitled to subsidies of VAT refund during the first 15 years after the commissioning of the project, the returned part is exempt from corporate income tax; (3) determine the nuclear power pricing principles.
2012.10	<i>Nuclear safety plan (2011–2020)</i> <i>Long-term nuclear power development plan (2011–2020)</i>	State council	<i>Nuclear safety plan (2011–2020):</i> (1) resume normal construction steadily, and promote the construction progress with appropriate tempo; (2) distribute projects in a scientific way: only arrange a few nuclear power project sites demonstrated fully during "the Twelfth Five-Year" period, and inland nuclear power projects are excluded; (3) improve access barrier. Develop new nuclear power projects in accordance with the world's highest safety requirements, and projects must meet safety standards of three generations. <i>Long-term nuclear power development plan (2011–2020):</i> By 2015, the installed capacity in service and under construction should be 40GW and 18GW respectively; and by 2020 be 58GW and 30GW respectively.
2013.7	<i>Notice on nuclear power feed-in tariff</i>	NDRC	Existing nuclear power feed-in tariff changes from individual pricing to benchmark feed-in tariff policy for new NPP implementing, and determined the national nuclear benchmark price of 0.43 yuan/kWh.
2014.1	<i>Guidelines on energy work of year 2014</i>	NEA (National energy administration)	Timely start the approval of key nuclear power projects, steadily promote coastal NPP construction, and to keep inland NPP sites under protection.
2014.11	<i>Energy development strategy action plan (2014-2020)</i>	State council	Develop nuclear power safely. New NPP can be started timely at eastern coastal areas, and the inland NPP should be studied and demonstrated. Adhere to the process of introduction, digestion, absorption and innovation. Promote the technological breakthrough of AP1000, CAP1400, high temperature gas cooled reactor, fast reactor and reprocessing. Impel the "go abroad" strategy. Strengthen the broadcast of nuclear power knowledge. By year 2020, the installed capacity in service and under construction reaches to 58GW and over 30GW respectively.
2015.1	<i>Policy statement on nuclear safety culture</i>	National nuclear safety administration (NNSA), NEA, State administration of science, technology and industry for national defense	Indicate directions for promoting the nuclear safety culture construction and strengthening the nuclear safety cultural literacy of the industry practitioners.

Tableau 13. Les principales décisions pour le développement de l'énergie nucléaire civile en Chine ([103]).

([11], [20], [29], [103], [115])

Quel est le savoir-faire chinois en matière de nucléaire ?

L'industrie chinoise du nucléaire est autonome depuis le milieu des années 1990 pour la construction de réacteurs de seconde génération. Son savoir-faire repose en grande partie sur un transfert de la technologie française depuis le début des années 1980.

L'industrie chinoise est présente sur le marché international seule (exportations au Pakistan et en Roumanie) ou en partenariat avec des grands groupes occidentaux (ex : partenariat CGNPC et EDF pour la construction de centrales nucléaires au Royaume-Uni).

La Chine est partenaire des Etats-Unis pour la commercialisation des centrales de troisième génération.

Mise à jour

Début 2016, le réacteur de troisième génération CAP1400 a passé avec succès l'*International Atomic Energy Agency's (IAEA's) Generic Reactor Safety Review*. Il s'agit d'un réacteur dont la propriété intellectuelle appartient à la société chinoise *State Nuclear Power Technology Corporation*. Il dérive de ceux de Westinghouse.

Mi 2016, l'industrie nucléaire chinoise envisageait d'exporter des centrales dans douze pays : deux centrales étaient déjà en cours de construction, le montage financier était bouclé pour trois autres et les discussions étaient plus ou moins avancées pour le reste.

([55], [81], [82], [78], [101], [103], [115])

Quel est le cycle du combustible nucléaire en Chine ?

La Chine fait appel à des fournisseurs étrangers à tous les stades du cycle du combustible, de l'extraction de l'uranium jusqu'à la fabrication des barreaux de combustible et à leur retraitement.

Les mines chinoises ne couvrent qu'un quart des besoins. La mise en service de nouvelles centrales va aggraver le déficit. Aussi la Chine crée-t-elle des coentreprises dans les pays producteurs d'uranium pour sécuriser son approvisionnement. Les partenaires sont des entreprises minières appartenant à l'Etat (ex : Kazakhstan) ou des grands groupes privés (ex : Areva pour l'exploitation des ressources en Afrique).

La Russie a construit une grosse usine d'enrichissement en 1990-2000, qu'elle a agrandie en 2007-2011.

La Chine développe sa propre technologie d'enrichissement. La première centrifugeuse de technologie chinoise a été mise en service en février 2013.

CNNC est responsable de la fabrication du combustible. Elle a bénéficié pour cela du transfert de technologies françaises, américaines et russes. Le retraitement du combustible fait appel à des technologies françaises et belges.

Jusqu'ici les combustibles usés sont stockés sur le site des centrales. Il est prévu de les regrouper dans un centre de stockage installé dans la province de Ganzu et d'enfouir les déchets très fortement radioactifs à 500 mètres de profondeur. La localisation du site d'enfouissement n'est pas encore totalement fixée. L'installation définitive devrait être mise en service vers 2050.

([83])

Quelle a été la politique nucléaire chinoise après l'accident de la centrale de Fukushima ?

Dans les jours qui ont suivi l'accident nucléaire de Fukushima, le gouvernement chinois a suspendu tous les nouveaux projets et fait procéder à un examen approfondi de toutes les centrales existantes ou en construction. Douze équipes de l'*International Atomic Energy Agency (IAEA)* ont renforcé la *National Nuclear Safety Administration* chinoise (NNSA).

En 2012 le gouvernement a reporté la construction des centrales à l'intérieur du pays. Il a adopté un nouveau programme pour la sécurité des installations nucléaires. Il impose notamment que la réglementation sur la sécurité des centrales soit strictement conforme aux normes de l'IAEA. Le Premier ministre a formellement sollicité les commentaires du public sur ce dispositif.

Le gouvernement estime que l'application du programme *12th 5-year Plan for Nuclear Safety and Radioactive Pollution Prevention and Vision for 2020* coûtera 13 milliards de dollars dans les trois ans à venir.

Comme il a été mentionné plus haut, les réacteurs du parc chinois font appel à différentes technologies, chacun ayant sa propre réglementation. Il s'avère que ceci complique la mise en œuvre d'une véritable culture de la sécurité.

Les observateurs étrangers considèrent en plus que la NNSA n'est pas suffisamment indépendante de l'instance qui décide de la construction des centrales. On peut toutefois noter que la NNSA collabore étroitement avec la *US Nuclear Regulatory Commission* pour la construction du réacteur de troisième génération.

Mise à jour

La construction des centrales nucléaires a repris et les objectifs pour 2020 devraient être atteints (ils avaient été fixés avant l'accident de Fukushima) (Tableau 13).

L'Etat a pris en parallèle de nombreuses mesures pour renforcer la culture de la sûreté dans le domaine du nucléaire, comme par exemple la publication en 2015 du *Policy statement on nuclear safety culture* (Tableau 13).

([29], [38], [41], [55], [82], [103])

Les énergies renouvelables en Chine aujourd'hui et dans l'avenir

Quelles sont les ressources de la Chine pour produire de l'électricité d'origine renouvelable ?

La Chine possède d'importantes ressources en énergies renouvelables (Figure 23). Elle possède le plus fort potentiel mondial en matière d'hydroélectricité. Il est estimé à 542 GW dont 128 GW pour des barrages de petites tailles (moins de 50 MW). Les deux-tiers des sites pouvant accueillir des petits barrages sont situés dans l'ouest du pays (Figure 5).

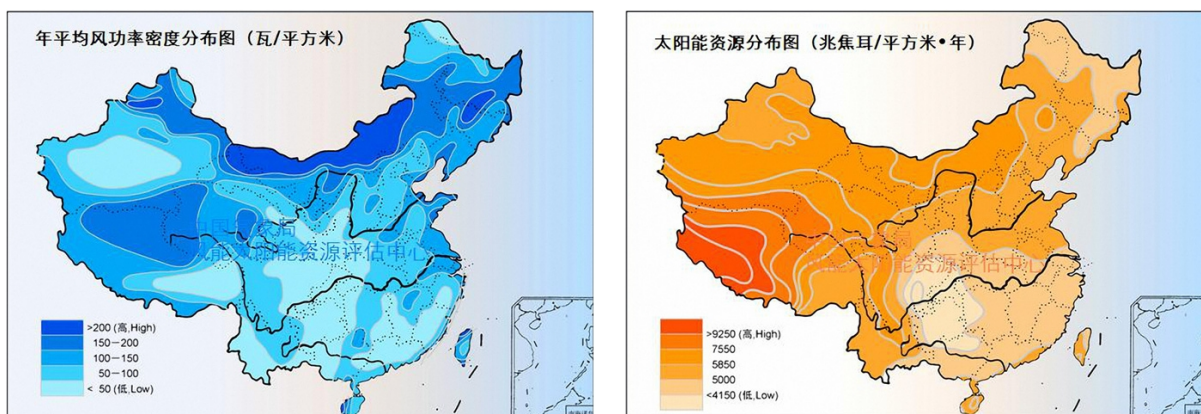


Figure 23. Localisation des ressources d'énergies éolienne (à gauche) et solaire (à droite) en Chine ([67]).

La Chine a programmé un doublement de la production d'électricité d'origine renouvelable entre 2010 et 2020 (Tableau 14).

Source d'énergie	Potentiel (en GW)	2010		2015		2020	
		Puissance (en GW)	Production d'énergie (en TWh)	Puissance (en GW)	Production d'énergie (en TWh)	Puissance (en GW)	Production d'énergie (en TWh)
Hydroélectricité	542	216	687	260	780	350	1050
Fermes d'éoliennes	800	44,7	50,1	100	190	200	377
Biomasse	380	5,5	27,5	13	52	30	131
Photovoltaïque	quasi illimité	0,9	0,6	15	21	50	70
Equivalent en Mtep			66		90		140

Tableau 14. Programmation de la production chinoise d'électricité d'origine renouvelable ([47], [53]).

La biomasse utilisée pour produire de l'électricité provient des déchets agricoles.

([47], [53], [66], [67])

Quelles sont les ressources géothermiques de la Chine ?

La Figure 24 montre la localisation des ressources géothermiques profondes en Chine. Elles permettent de produire de l'électricité au Tibet (la principale centrale a une puissance de 25 MW). Partout ailleurs elles servent à produire de l'eau chaude sanitaire ou à chauffer des serres.

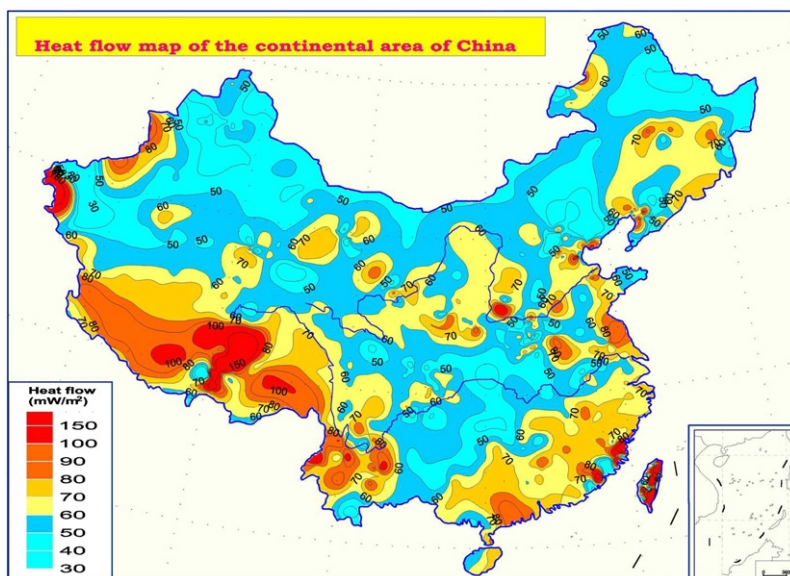


Figure 24. Carte des ressources géothermiques en Chine ([67]).

([67])

La biomasse est-elle appelée à jouer un rôle important dans la politique énergétique de la Chine ?

La Chine a programmé une très forte augmentation de la production d'énergie à partir de la biomasse.

Le Tableau 15 résume les objectifs fixés par le plan de 2007 pour l'exploitation énergétique de la biomasse (*Medium and long term development plan for renewable energy in China*).

	2010	2020
Déchets agricoles et forestiers, cultures énergétiques	4 GW	24 GW
Biogaz dans les fermes d'élevage	3,6 Mtep et 1 GW	12,6 Mtep et 3 GW
fermes d'élevage	4 700 grands projets	10 000 grands projets
effluents industriels	1 600 grands projets	6 000 grands projets
Déchets municipaux	0,5 GW	3 GW
Granulés de bois	0,25 Mtep 500 installations pilotes	12,5 Mtep
Réseau de distribution du biogaz dans les zones rurales	13,5 Mtep 40 millions de logements	27 Mtep 80 millions de logements
Biocarburants à partir de céréales non-alimentaires		
bioéthanol	1,3 Mtep	6,3 Mtep
biodiesel	0,2 Mtep	1,8 Mtep

Tableau 15. Objectifs pour la production d'énergie à partir de la biomasse ([1], [50]).

([1], [47], [50], [66], [67])

L'avenir du marché de l'énergie en Chine

La Chine atteindra-t-elle ses objectifs pour les énergies renouvelables ?

La Chine a dépassé la plupart des objectifs qu'elle s'était fixée pour le développement des énergies renouvelables en 2010 (Tableau 16).

Source d'énergie	Unité	Situation en 2005	Situation en 2010	Objectif 2010
Hydroélectricité	GW	117,0	213,0	190
Production d'électricité avec de la biomasse	GW	2,0	6,7	5,5
Eolien	GW	1,3	44,0	5
Photovoltaïque	GW	0,1	0,8	0,25
Consommation de biogaz dans les zones rurales	Mtep	7,2	15,1	13,5
Chauffe-eau solaires	Mtep	6,3	12,2	12,9
Bioéthanol de céréales non-alimentaires	Mtep	0,0	0,2	1,3
Granulés de bois	Mtep	0,0	0,6	0,25
Biodiesel	Mtep	0,0	0,4	0,18

Tableau 16. Objectifs du plan de développement des énergies renouvelables de 2007 comparés à la situation en 2005 et en 2010 ([50]). Chauffe-eau solaires : 1 tep $\approx$ 11,7 mètres carré de chauffe-eau solaire en moyenne en Chine.

La production de bioéthanol à partir de céréales non-alimentaires présente les mêmes difficultés qu'en Europe : 1) les surfaces agricoles existantes sont indispensables pour la production de nourriture ; 2) le prix de revient est trop élevé ; 3) les cultures énergétiques ont des effets nocifs sur l'environnement.

Le biodiesel ne pose pas les mêmes problèmes car il est produit à partir d'huiles usagées.

La Chine possède 65 % de la puissance mondiale en chauffe-eau solaires, soit l'équivalent de 105 kWh par habitant. Elle n'est malgré tout que septième, loin derrière Israël (451 kWh par habitant) (Tableau 17).

Pays	Israël	Autriche	Grèce	Turquie	Allemagne	Australie	Chine	Italie	Japon
kWh/habitant	451	390	310	152	134	106	105	97	38

Tableau 17. Classement mondial 2010 en fonction de la puissance installée en chauffe-eau solaires ([77] p. 55)

Mise à jour

Les objectifs fixés pour 2015 étaient largement dépassés dès 2014 pour l'hydroélectricité et le photovoltaïque et il est probable qu'ils seront atteints pour l'éolien. Les résultats sont moins probants pour la valorisation énergétique de la biomasse (Tableau 18).

Energy source	Potential (GW)	Situation 2014	Target 2015
Hydro power	542	301.83	260
Wind power	800	95.81	100
Biomass	380	11.00	13
Solar	Basically unlimited	25.18	15

Tableau 18. Production d'énergies renouvelables en 2014 ([104]).

([1], [37] pp. 131-132, [50], [66], [77] pp. 54-56, [104])

Le réseau est-il suffisamment puissant pour distribuer toute l'électricité d'origine renouvelable ?

Non. Par exemple 30 % de l'électricité éolienne était perdue en 2010 à cause des insuffisances du réseau (Figure 25). Ceci s'explique en partie par la croissance rapide et plus ou moins anarchique des énergies renouvelables. Les gouvernements locaux et les entreprises lancent une foultitude de petits projets pour tourner la loi qui impose une autorisation de l'Etat pour construire des fermes d'éoliennes de plus de 50 MW.

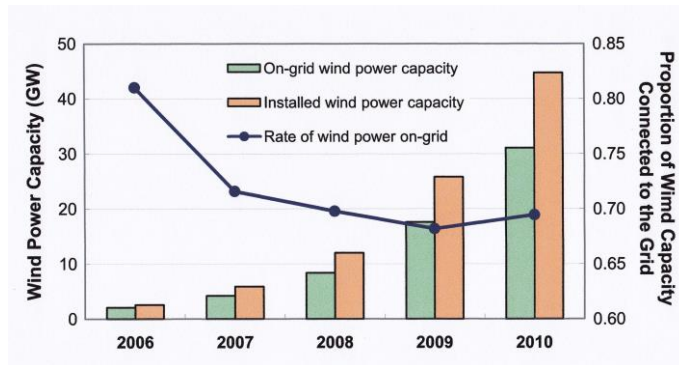


Figure 25. Puissance installée en énergie éolienne et pourcentage connecté au réseau ([19]).

Une autre source de difficulté est l'éloignement de la production d'électricité éolienne par rapport aux grands pôles de consommation (Figure 26). Il est plus facile et plus rapide d'installer une ferme d'éoliennes que de construire une ligne à très haute tension traversant la Chine. L'Europe rencontre les mêmes difficultés alors que les distances sont moindres.

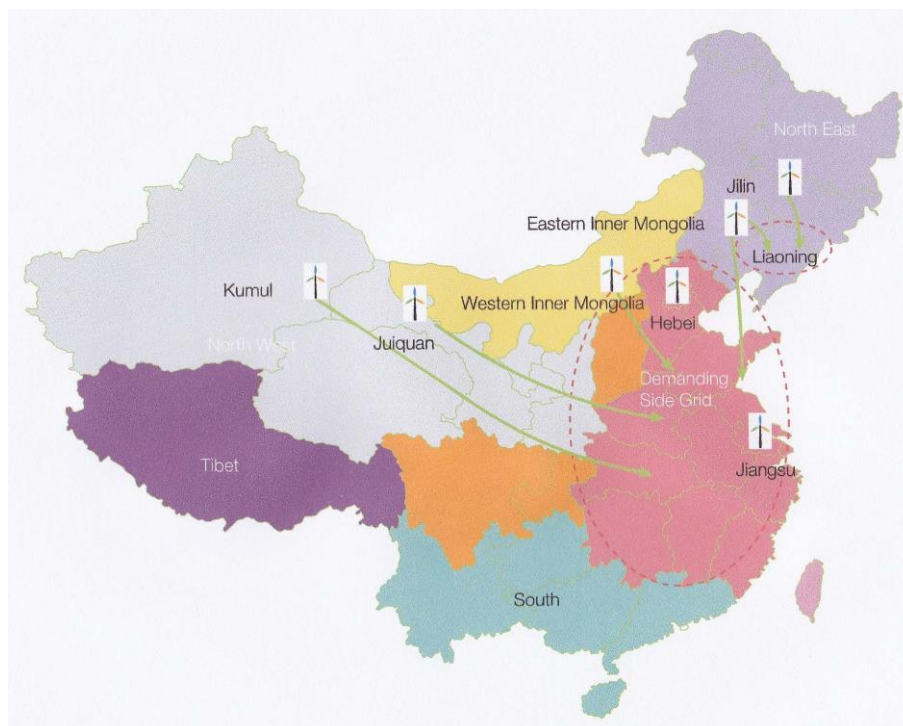


Figure 26. Implantation de la production d'électricité éolienne et tracé schématique du transport de l'électricité ([9] p. 31)

On compense généralement l'instabilité de la production d'électricité éolienne par des centrales hydroélectriques qui démarrent à la demande (capacités de *back up*). Mais elles sont dans les provinces du sud, très loin des fermes d'éoliennes. Il faut donc coordonner la production d'électricité et la charge de réseaux de distribution sur de très grandes distances (on parle alors de réseau intelligent ou *smart grid*).

On obtient des résultats prometteurs à une échelle locale. Par exemple, un réseau intelligent connectant neuf fermes d'éoliennes d'une puissance totale de 210 GW a augmenté de 14 % la production d'électricité à Jiuquan dans la province de Gansu.

Mais la construction d'un réseau électrique intelligent à l'échelle de la Chine est très au-delà des capacités techniques actuelles.

([5], [9] pp. 30-32, [10] pp. 6-7, pp. 11-13, pp. 28-35, [19], [23], [37] p. 14, p. 98, [56])

Qu'est-il prévu pour le développement du réseau de distribution de l'électricité ?

En 2009, la Chine a lancé le programme *Strong and Smart Grid Plan* avec un budget de 600 milliards de dollars. Le but est de construire d'ici 2020 un réseau de distribution de l'électricité complet, sûr, efficace et intelligent.

Des essais préalables ont été réalisés en 2009-2010 dans 228 démonstrateurs répartis dans 26 provinces.

Les points forts de la période 2011-2015 sont : 1) la construction de 200 000 kilomètres de lignes à ultra-haute tension (1 million de volt) et la densification des réseaux de distribution locaux, le réseau chinois fera alors 900 000 kilomètres (trois fois le réseau européen) ; 2) la généralisation de la technologie *smart grid* (contrôle informatique en temps réel du réseau) ; 3) l'intégration des grandes fermes d'éoliennes.

La priorité donnée à la construction de lignes à ultra-haute tension est critiquée publiquement par d'éminents spécialistes chinois car la technologie n'est pas mûre. Ils considèrent qu'une mosaïque de réseaux à très haute tension (500 000 volts) est une solution plus économique et plus résistante aux pannes qui présente en plus l'avantage de faire appel à des techniques parfaitement maîtrisées.

La généralisation de la technologie *smart grid* fait aussi l'objet de réserves : 1) l'ensemble du système de production de l'électricité existant actuellement en Chine n'est pas conçu par une gestion distribuée ; 2) le marché des applications domestiques n'est pas mûr.

Mise à jour

L'information ci-dessus selon laquelle 200 000 kilomètres de lignes à ultra-haute tension seraient construits pendant le 12^e Plan quinquennal (2011-2015) était erronée. En 2013, la société chargée des travaux (la *State Grid Corporation China* – SGCC) a présenté un plan de huit ans pour construire d'ici 2020 37 lignes UHV totalisant 89 000 km. Onze devaient être construites d'ici la fin 2015, et dix-neuf d'ici la fin 2017. En réalité, huit lignes seulement d'une longueur totale de 11 900 km étaient en service fin 2015.

En 2015, la SGCC et une société brésilienne ont signé un accord de coopération pour la construction d'une ligne UHV au Brésil.

([5], [16], [30], [37] p. 14, pp. 93-104, [63], [93], [94], [95], [105])

La politique chinoise en faveur des énergies renouvelables est-elle bien classée au niveau mondial ?

La politique de la Chine en faveur des énergies renouvelables est très bien classée au niveau mondial dans le *Ernst & Young Country Attractiveness Indices* (Tableau 19).

Pays	Chine	Allemagne	Etats-Unis	Inde	France	Royaume Uni
Classement	1	2	3	4	5	6
Note globale	69,6	65,6	64,5	63,5	55,8	54,6
Eolien	76	68	62	63	58	62
Photovoltaïque	66	70	69	68	57	47
Biomasse	59	68	61	60	57	57
Géothermique	50	58	67	44	34	35
Infrastructures	72	73	59	63	56	64

Tableau 19. Valeur des renewables index pour les six premiers du classement en novembre 2012 ([72] p. 21).

Les *renewables index* sont construits à partir du *renewables infrastructure index* et des *technology factors*. Le *renewable infrastructure index* tient compte notamment de l'ouverture du marché de l'électricité, de l'accès aux financements et de la facilité de connexion au réseau. Les *technology factors* sont calculés pour chaque source d'énergie renouvelable. Ils tiennent compte notamment des mesures incitatives et de la croissance du marché.

Mise à jour

En mai 2016, la Chine est classée seconde pour le *Renewable energy country attractiveness index*, juste derrière les Etats-Unis (Tableau 20). NB “Due to the methodology refresh, the previous numeric ranking is not a comparable measure” (dixit Ernst & Young).

	US	China	India	Chile	Germany	Brazil	Mexico	France
RECAI score	77,0	76,9	71,6	70,4	69,0	67,5	67,0	66,7
Onshore wind	1	2	4	6	8	3	5	9

	US	China	India	Chile	Germany	Brazil	Mexico	France
Offshore wind	4	1	21	20	2	19	24	9
Solar PV	1	3	2	7	19	5	6	9
Solar CSP	1	7	4	3	22	10	12	19
Biomass	2	1	3	18	12	8	26	10
Geothermal	2	16	15	6	8	30	5	17
Small hydro	6	1	2	4	22	3	11	21
Marine	8	6	23	20	26	22	16	5

Tableau 20. Valeur des renewables index pour les huit premiers du classement en mai 2016 ([112]). NB “Due to the methodology refresh, the previous numeric ranking is not a comparable measure” (dixit Ernst & Young).

([59], [72] p. 21, p. 36, [112])

Références

Les références sont classées par date de mise en ligne. Les URL ont été vérifiées en mars 2013. En cas de problème, il est généralement possible de récupérer le document avec un moteur de recherche en faisant une requête avec le titre.

- [1] Medium and Long-Term Development Plan for Renewable Energy. National Development and Reform Commission (NDRC) People's Republic of China. 2007-10-15. <http://www.chinaenvironmentallaw.com/wp-content/uploads/2008/04/medium-and-long-term-development-plan-for-renewable-energy.pdf>
- [2] Pierre MARION. La liquéfaction du charbon : où en est-on aujourd'hui ? *IFP, Panorama 2008*. 2008-02-15. http://www.ifpenergiesnouvelles.fr/content/download/58417/1278364/version/2/file/8-vf_La+liqu%C3%A9faction+du+charbon+-+o%C3%B9+en+est-on+aujourd%5C%27hui.pdf
- [3] János M. BEER. Higher Efficiency Power Generation Reduces Emissions. *National Coal Council Issue Paper 2009 MIT*. 2009-06-15. <http://mitei.mit.edu/system/files/beer-emissions.pdf>
- [4] Bo-qiang LIN, Jiang-hu LIU. Estimating coal production peak and trends of coal imports in China. *Energy Policy* **38** (2010) 512–519. doi:10.1016/j.enpol.2009.09.042. 2009-10-17.
- [5] Adrian LU. A Primer on the (Strong) Smart Grid and its Potential for Reducing GHG Emissions in China and the United States. *Natural Resources Defense Council*. 2010-01-10. [http://www.nrdc.cn/phpcms/userfiles/download/201107/17/A%20Primer%20on%20the%20\(Strong\)%20Smart%20Grid%20and%20its%20Potential%20for%20Reducing%20GHG%20Emissions%20in%20China%20and%20the%20United%20States%202010%20Oct.pdf](http://www.nrdc.cn/phpcms/userfiles/download/201107/17/A%20Primer%20on%20the%20(Strong)%20Smart%20Grid%20and%20its%20Potential%20for%20Reducing%20GHG%20Emissions%20in%20China%20and%20the%20United%20States%202010%20Oct.pdf)
- [6] Yen-Chiang CHANG, Nannan WANG. Environmental regulations and emissions trading in China. *Energy Policy* **38** (2010) 3356–3364. doi:10.1016/j.enpol.2010.02.006. 2010-02-26.
- [7] Tao WANG, Jim WATSON. Scenario analysis of China's emissions pathways in the 21st century for low carbon transition. *Energy Policy* **38** (2010) 3537-3546. doi:10.1016/j.enpol.2010.02.031. 2010-03-01.
- [8] Deborah SELIGSOHN, Yue LIU, Sarah FORBES, Zhang DONGJIE, Logan WEST. CCS in China: Toward an Environmental, Health, and Safety Regulatory Framework. *World Resources Institute*. 2010-07-29. http://pdf.wri.org/ccs_in_china.pdf
- [9] Li JUNFENG, Shi PENGFEI, Gao HU. China Wind Power Outlook 2010. Chinese Renewable Energy Industries Association, *Global Wind Energy Council, Greenpeace*. 2010-09-28. http://www.gwec.net/publications/country-reports/china_outlook/
- [10] Priorités en matière d'infrastructures énergétiques pour 2020 et au-delà – Schéma directeur pour un réseau énergétique européen intégré. Communication de la Commission au Parlement européen, au Conseil, au Comité économique et social européen et au Comité des régions. *Commission européenne*. COM(2010) 677 final. Bruxelles, 2010-11-17. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2010:0677:FIN:FR:PDF>
- [11] Yun ZHOU, Christian RENGIFO, Peipei CHEN, Jonathan HINZE. Is China ready for its nuclear expansion? *Energy Policy* **39** (2011) 771–781. doi:10.1016/j.enpol.2010.10.051. 2010-11-24.
- [12] ASIACHEM: 2010 China Coal Chemical Review. 2011-01-17. <http://www.chemweekly.com/release/2011/ASIACHEM-2010-China-Coal-Chemical-Review.pdf>
- [13] Lynn PRICE, Mark D. LEVINE, Nan ZHOU, David FRIDLEY, Nathaniel ADEN, Hongyou LU, Michael McNEIL, Nina ZHENG, Yining QIN, Ping YOWARGANA. Assessment of China's energy-saving and emission-reduction accomplishments and opportunities during the 11th Five Year Plan. *Energy Policy* **39** (2011) 2165–2178. doi:10.1016/j.enpol.2011.02.006. 2011-02-01.
- [14] Jinlong MA. On-grid electricity tariffs in China: Development, reform and prospects. *Energy Policy* **39** (2011) 2633–2645. doi:10.1016/j.enpol.2011.02.032. 2011-03-01.
- [15] Nan ZHOU, David FRIDLEY, Michael McNEIL, Nina ZHENG, Jing KE, and Mark LEVINE. China's Energy and Carbon Emissions Outlook to 2050. China Energy Group. Energy Analysis Department. Environmental Energy Technologies Division. *Lawrence Berkeley National Laboratory*. 2011-04-28. http://eaei.lbl.gov/sites/all/files/LBL_4472E_Energy_2050.April_2011_1.pdf

- 2011-06-29 [16] Yannis KABOURIS. Transmission Planning Activities in Europe – The role of ENTSO-E. *5th South East Europe Energy Dialogue*. 2-3 June 2011. 2011-06-29.
<http://www.iene.gr/5thSEED/articlefiles/sessionIII/kabouris.pdf>
- [17] Li YUE. Dynamics of clean coal-fired power generation development in China. *Energy Policy* **51** (2012) 138–142. doi:10.1016/j.enpol.2011.06.012. 2011-07-08.
- [18] YuZhuo ZHANG, ZhengPing LU. The Cleaner Coal Conversion & Utilization Technologies in Shenhua and China. 2011-09-19. http://www.engineering.pitt.edu/uploadedFiles/Coal_Conference/Pl2-1%20-%20Zhengping%20Lu.Publishable.pdf
- [19] Mian YANG, Dalia PATIÑO-ECHEVERRI, Fuxia YANG. Wind power generation in China: Understanding the mismatch between capacity and generation. *Renewable Energy* **41** (2012) 145-151. doi:10.1016/j.renene.2011.10.013. 2011-11-04.
- [20] M.V. RAMANA, Eri SAIKAWA. Choosing a standard reactor: International competition and domestic politics in Chinese nuclear policy. *Energy* **36** (2011) 6779-6789. doi:10.1016/j.energy.2011.10.022. 2011-11-12.
- [21] Peng RU, Qiang ZHI, Fang ZHANG, Xiaotian ZHONG, Jianqiang LI, Jun SU. Behind the development of technology: The transition of innovation modes in China's wind turbine manufacturing industry. *Energy Policy* **43** (2012) 58-69. doi:10.1016/j.enpol.2011.12.025. 2012-02-03.
- [22] Kevin Jianjun TU, Sabine JOHNSON-REISER. Understanding China's Rising Coal Imports. *Carnegie Endowment for International Peace*. 2012-02-16. http://www.carnegieendowment.org/files/china_coal.pdf
- [23] Junjie KANG, Jiahai YUAN, Zhaoguang HU, Yan XU. Review on wind power development and relevant policies in China during the 11th Five-Year-Plan period. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **16** (2012) 1907– 1915. doi:10.1016/j.rser.2012.01.031. 2012-02-18.
- [24] Zhao XINGANG, Liu LU, Liu XIAOMENG, Wang JIEYU, Liu PINGKUO. A critical-analysis on the development of China hydropower. *Renewable Energy* **44** (2012) 1-6. doi:10.1016/j.renene.2012.01.005. 2012-02-22.
- [25] China 2030: Building a Modern, Harmonious, and Creative High-Income Society. Conference Edition. *The World Bank, Development Research Center of the State Council, the People's Republic of China*. 2012-02-24. <http://www.worldbank.org/content/dam/Worldbank/document/China-2030-complete.pdf>
- [26] Le baromètre de l'éolien. *EurObserv'ER*. 2012-03-08. http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/observ/windpower_2012.pdf
- [27] Bo ZHANG, G.Q. CHEN, X.H. XIA, S.C. LI, Z.M. CHEN, Xi JI. Environmental emissions by Chinese industry: Exergy-based unifying assessment. *Energy Policy* **45** (2012) 490–501. doi:10.1016/j.enpol.2012.02.060. 2012-03-13.
- [28] Simon HALL. Total Extends Its China Ties. *The Wall Street Journal*. 2012-03-18.
- [29] XU Yi-chong. Nuclear Power in China: How It Really Works. *Global Asia* **7** (2012) 32-43. 2012-03-19. http://www.globalasia.org/V7N1_Spring_2012/Xu_Yi-chong.html
- [30] Lihui XU, Jochen ALLEYNE. Strong Smart Grid Vs. Distributed Smart Grid – The Dispute of China's Smart Grid Roadmap. *SGT SmartGridTimes&Consulting*. 2012-04-03. <http://www.sgtresearch.com/insights/2012/0417/80.html>
- [31] Yuanchun ZHOU, Bing ZHANG, Ji ZOU, Jun BI, Ke WANG. Joint R&D in low-carbon technology development in China: A case study of the wind-turbine manufacturing industry. *Energy Policy* **46** (2012) 100-108. doi:10.1016/j.enpol.2012.03.037. 2012-04-09.
- [32] Jeff TOLLEFSON, Richard Van NOORDEN. Slow progress to cleaner coal. China moves forward with demonstration power plant as United Kingdom revives carbon-capture programme. *Nature* **484** (12 April 2012) 151–152. doi:10.1038/484151a. 2012-04-12.
- [33] Qiang ZHANG, Kebin HE, Hong HUO. Cleaning China's air. *Nature* **484** (2012) 161–162. doi:10.1038/484161a. 2012-04-12.

- [34] JIA Chengzao, ZHENG Min, ZHANG Yongfeng. Unconventional hydrocarbon resources in China and the prospect of exploration and development. *Petroleum Exploration and Development* **39** (2012) 139–146. 2012-04-15.
- [35] Mark LEVINE, David FRIDLEY, Hongyou LU, Cecilia FINO-CHEN. Key China Energy Statistics 2012. China Energy Group. Environmental Energy Technologies Division. *Lawrence Berkeley National Laboratory*. 2012-05. http://china.lbl.gov/sites/china.lbl.gov/files/2012_Databook.pdf
- [36] Hu RUNQING, Sun PEIJUN, Wang ZHONGYING. An overview of the development of solar water heater industry in China. *Energy Policy* **51** (2012) 46–51. doi:10.1016/j.enpol.2012.03.081. 2012-05-06.
- [37] The China Greentech Report 2012. *China Greentech Initiative*. 2012-05-17. <http://www.china-greentech.com/Home>
- [38] Cheryl S.F. CHI, Ling CHEN. The sources of divergent practices in China's nuclear power sector. In Special Section: Frontiers of Sustainability Edited By Atle MIDTTUN and Alberto MARTINELLI. *Energy Policy* **48** (2012) 348–357. doi:10.1016/j.enpol.2012.05.036. 2012-06-02.
- [40] Dunguo MOU, Zhi LI. A spatial analysis of China's coal flow. *Energy Policy* **48** (2012) 358–368. doi:10.1016/j.enpol.2012.05.034. 2012-06-12.
- [41] Ioannis N. KESSIDES. The future of the nuclear industry reconsidered: Risks, uncertainties, and continued promise. *Energy Policy* **48** (2012) 185–208. doi:10.1016/j.enpol.2012.05.008. 2012-06-13.
- [42] U.S.-China Clean Energy Research Center Annual Report 2011. *U.S.-China Clean Energy Research Center (CERC)*. 2012-06-15. http://www.us-china-cerc.org/pdfs/US-China_CERC_Annual_Report_2011.pdf
- [43] Jiahai YUAN, Yong HOU, Ming XU. China's 2020 carbon intensity target: Consistency, implementations, and policy implications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **16** (2012) 4970–4981. doi:10.1016/j.rser.2012.03.065. 2012-06-27.
- [44] BP Statistical Review of World Energy. 2012-06-30. <http://www.bp.com/statisticalreview>
- [45] Road Testing American Carbon-Saving Technology in China. *ChinaFAQs The Network for Climate and Energy Information*. 2012-07-09. http://www.chinafaqs.org/files/chinainfo/China%20FAQs_Road_Testing_Tech_v1_6.pdf
- [46] Wei SHEN, Weijian HAN, David CHOCK, Qinhu CHAI, Aling ZHANG. Well-to-wheels life-cycle analysis of alternative fuels and vehicle technologies in China. *Energy Policy* **49** (2012) 296–307. doi:10.1016/j.enpol.2012.06.038. 2012-07-11.
- [47] Sheng ZHOU, Qing TONG, Sha YU, Yu WANG, Qimin CHAI, Xiliang ZHANG. Role of non-fossil energy in meeting China's energy and climate target for 2020. *Energy Policy* **51** (2012) 14-19. doi:10.1016/j.enpol.2012.05.083. 2012-07-13.
- [48] Xiaowei CUI, Jinglan HONG, Mingming GAO. Environmental impact assessment of three coal-based electricity generation scenarios in China. *Energy* **45** (2012) Pages 952–959. doi:10.1016/j.energy.2012.06.063. 2012-07-21.
- [49] Nicholas CLEMENT. CNOOC to Buy Canadian Oil Company in US\$15 Billion Deal. *China Briefing*. 2012-07-26. <http://www.china-briefing.com/news/2012/07/26/cnooc-to-buy-canadian-oil-company-in-us15-billion-deal.html>
- [50] Shiyang CHANG, Lili ZHAO, Govinda R. TIMILSINA, Xiliang ZHANG. Biofuels development in China: Technology options and policies needed to meet the 2020 target. *Energy Policy* **51** (2012) 64–79. doi:10.1016/j.enpol.2012.05.084. 2012-07-27.
- [51] Yongzhong FENG, Yan GUO, Gaihe YANG, Xiaowei QIN, Zilin SONG. Household biogas development in rural China: On policy support and other macro sustainable conditions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **16** (2012) 5617–5624. doi:10.1016/j.rser.2012.06.019. 2012-08-04.
- [52] Jing KE, Lynn PRICE, Stephanie OHSHITA, David FRIDLEY, Nina Zheng KHANNA, Nan ZHOU, Mark LEVINE. China's industrial energy consumption trends and impacts of the Top-1000 Enterprises Energy-Saving Program and the Ten Key Energy-Saving Projects. *Energy Policy* **50** (2012) 562–569. doi:10.1016/j.enpol.2012.07.057. 2012-08-19.

- [53] Zhao XINGANG, Wang JIEYU, Liu XIAOMENG, Liu PINGKUO. China's wind, biomass and solar power generation: What the situation tells us? *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **16** (2012) 6173–6182. doi:10.1016/j.rser.2012.07.020. 2012-08-30.
- [54] Xiaoye LIANG, Zhihua WANG, Zhijun ZHOU, Zhenyu HUANG, Junhu ZHOU, Kefa CEN. Up-to-date life cycle assessment and comparison study of clean coal power generation technologies in China. *Journal of Cleaner Production* **39** (2013) 24–31. doi:10.1016/j.jclepro.2012.08.003. 2012-08-31.
- [55] Antony FROGGATT, Joy TUFFIELD. Chinese Nuclear Power Development at Home and Abroad. *The Asia-Pacific Journal*. 2012-09-10. <http://www.japanfocus.org/-Joy-Tuffield/3826>
- [56] Xinhua TANG, Jianjun ZHOU. A future role for cascade hydropower in the electricity system of China. *Energy Policy* **51** (2012) 358–363. doi:10.1016/j.enpol.2012.08.025. 2012-09-13.
- [57] Qiang WANG, Xi CHEN. China's electricity market-oriented reform: From an absolute to a relative monopoly. *Energy Policy* **51** (2012) 143–148. doi:10.1016/j.enpol.2012.08.039. 2012-09-15.
- [58] Zhongying WANG, Haiyan QIN, Joanna I. LEWIS. China's wind power industry: Policy support, technological achievements, and emerging challenges. *Energy Policy* **51** (2012) 80–88. doi:10.1016/j.enpol.2012.06.067. 2012-09-15.
- [59] Aldo SANTALCO. How and when China will exceed its renewable energy deployment targets. *Energy Policy* **51** (2012) 652–661. doi:10.1016/j.enpol.2012.09.008. 2012-09-28.
- [60] Key Indicators for Asia and the Pacific 2012. *Asian Development Bank*. 2012-10-01. <http://www.adb.org/publications/key-indicators-asia-and-pacific-2012>
- [61] China to impose carbon tax from 2012. *Klean Industries*. 2012-10-02. http://www.kleanindustries.com/s/environmental_market_industry_news.asp?ReportID=550905
- [62] Jia-Hai YUAN, Thomas P. LYON. Promoting global CCS RDD&D by stronger U.S.–China collaboration. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **16** (2012) 6746–6769. doi:10.1016/j.rser.2012.08.014. 2012-10-05.
- [63] Kamil BOJANCZYK. China and the World's Greatest Smart Grid Opportunity. *Greentechgrid*. 2012-10-09. <http://www.greentechmedia.com/articles/read/enter-the-dragon-china-and-the-worlds-greatest-smart-grid-opportunity>
- [64] Richard SCOTNEY, Sarah CHAPMAN, Cameron HEPBURN, Cui JIE. Carbon Markets and Climate Policy in China. *The Climate Institute - Australia*. 2012-10-10. http://www.climateinstitute.org.au/verve/resources/ClimateBridge_CarbonMarketsandClimatePolicyinChina_October2012.pdf
- [65] China Carbon Debut Defies Emission Doubters. *Bloomberg News*. 2012-10-12. <http://www.bloomberg.com/news/2012-10-12/china-carbon-debut-defies-emission-doubters-energy-markets.html>
- [66] Xiliang ZHANG, Shiyan CHANG, Eric MARTINOT. Renewable energy in China: An integrated technology and policy perspective. *Energy Policy* **51** (2012) 1–6. doi:10.1016/j.enpol.2012.09.071. 2012-10-18.
- [67] Li-qun LIU, Chun-xia LIU, Jing-si WANG. Deliberating on renewable and sustainable energy policies in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **17** (2013) 191–198. doi:10.1016/j.rser.2012.09.018. 2012-10-23.
- [68] Hengwei LIU, Dapeng LIANG. A review of clean energy innovation and technology transfer in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **18** (2013) 486–498. doi:10.1016/j.rser.2012.10.041. 2012-10-27.
- [69] China's Policies and Actions for Addressing Climate Change. *Information Office of the State Council of the People's Republic of China*. 2012-11-21. http://www.china.org.cn/government/whitepaper/node_7172407.htm
- [70] 2012 Report to Congress of the U.S.–China Economic and Security Review Commission. 2012-11-14. http://www.uscc.gov/annual_report/2012/2012-Report-to-Congress.pdf
- [71] Bingyun LI, Yuhua DUAN, David LUEBKE, Bryan MORREALE. Advances in CO₂ capture technology: A patent review. *Applied Energy* **102** (2013) 1439–1447. doi:10.1016/j.apenergy.2012.09.009. 2012-11-27.

- [72] Renewable energy country attractiveness indices. 2012-11-27. *Ernst & Young*.
[http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/CAI_issue-35_Nov-2012/\\$FILE/CAI_issue-35_Nov-2012_DE0372.pdf](http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/CAI_issue-35_Nov-2012/$FILE/CAI_issue-35_Nov-2012_DE0372.pdf)
- [73] Ning WU, John E. PARSONS, Karen R. POLENSKE. The impact of future carbon prices on CCS investment for power generation in China. *Energy Policy* **54** (2013) 160-172. doi:10.1016/j.enpol.2012.11.011. 2012-12-04.
- [74] La Californie met en place son « Cap & Trade » des émissions de CO₂. *ADIT*. 2012-12-11.
<http://www.bulletins-electroniques.com/actualites/71674.htm>
- [75] Current List of Coal Power Plants. *Global Energy Observatory*. 2013-01.
<http://globalenergyobservatory.org/list.php?db=PowerPlants&type=Coal>
- [76] Björn NYKVIST. Ten times more difficult: Quantifying the carbon capture and storage challenge. *Energy Policy* **55** (2013) 683-689. doi:10.1016/j.enpol.2012.12.026. 2013-01-20.
- [77] Renewables 2012 Global Status Report. *REN21*. 2013-01-30.
http://new.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/%20GSR_2012%20highres.pdf
- [78] Lorraine TURNER, Karolin SCHAPS. Centrica pulls out of new UK nuclear projects. *Reuters*. 2013-02-04.
<http://uk.reuters.com/article/2013/02/04/uk-centrica-idUKBRE9130B220130204>
- [79] Banque mondiale – indicateurs. 2013-03. <http://donnees.banquemondiale.org/indicateur>
- [80] U.S.-China Clean Energy Research Center (CERC). 2013-03. <http://www.us-china-cerc.org/>
- [81] Metes (Nuclearelectrica): Units 3 and 4 in Cernavoda will not start working before 2019. *Romanian Business News – ACTMedia*. 2013-03-14. <http://actmedia.eu/energy-and-environment/metes-nuclearelectrica-units-3-and-4-in-cernavoda-will-not-start-working-before-2019/44899>
- [82] Nuclear Power in China. *World Nuclear Association*. 2013-03-21. <http://world-nuclear.org/info/Country-Profiles/Countries-A-F/China--Nuclear-Power/>
- [83] China's Nuclear Fuel Cycle. *World Nuclear Association*. 2013-03-21. <http://world-nuclear.org/info/Country-Profiles/Countries-A-F/China--Nuclear-Fuel-Cycle/>
- [84] Current List of Nuclear Power Plants. *Global Energy Observatory*. 2013-04.
<http://globalenergyobservatory.org/list.php?db=PowerPlants&type=Nuclear>

Mise à jour

Les références sont classées par date de mise en ligne. Les URL ont été vérifiées en août 2016. En cas de problème, il est généralement possible de récupérer le document avec un moteur de recherche en faisant une requête avec le titre.

- [85] 2015年12月全国进口重点商品量值表 (人民币值). General Administration of Customs of the People's Republic of China. 2013-01-13. <http://www.customs.gov.cn/publish/portal0/tab49666/info784222.htm>
- [86] Lu, Hongyou, Lynn K. Price, Arvind Thekdi, Sachin Nimbalkar, Matthew DeGroot, Shi Jun. Energy assessments under the Top 10,000 Program – a case study for a steel mill in China. 2014 ECEEE Industrial Summer Study on Energy Efficiency. 2014-06-09. http://proceedings.eceee.org/papers/proceedings2014/1-014-14_Lu_PR.pdf?returnurl=http%3A%2F%2Fproceedings.eceee.org%2Fvisabstrakt.php%3Fevent%3D4%26doc%3D1-014-14
- [87] Xu Shisen. Moving Forward With the Huaneng GreenGen IGCC Demonstration. *Cornerstone*. 2014-09-30. <http://cornerstonemag.net/moving-forward-with-the-huaneng-greengen-igcc-demonstration/>
- [88] Jianfei Shen, Chen Luo. Overall review of renewable energy subsidy policies in China - Contradictions of intentions and effects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **41** (2015) 1478-1488. doi:10.1016/j.rser.2014.09.007. 2014-10-17.
- [89] Key China Energy Statistics 2014. China Energy Group, Lawrence Berkeley National Laboratory. 2014-11-04. http://eetd.lbl.gov/sites/all/files/key_china_energy_statistics_2014_online.final.pdf

- [90] China unveils energy strategy, targets for 2020. *Xinhuanet*. 2014-11-19. http://news.xinhuanet.com/english/china/2014-11/19/c_133801014.htm
- [91] Sylvie Cornot-Gandolphe. China's Coal Market – Executive Summary. The Oxford Institute for Energy Studies. 2014-12-03. <https://www.oxfordenergy.org/wpcms/wp-content/uploads/2014/07/Executive-Summary-Chinas-Coal-Market.pdf>
- [92] Lauri Myllyvirta. Comment: New coal power plants in China – a (carbon) bubble waiting to burst. *Energydesk*. 2015-02-23. <http://energydesk.greenpeace.org/2015/02/23/comment-new-coal-power-plants-china-carbon-bubble-waiting-burst/>
- [93] Yuheng-Weifang 1000kV UHV AC Transmission and Transformation Project Starts Construction. SGCC News. 2015-05-14. <http://www.sgcc.com.cn/ywlm/projects/ultrahighvoltage/05/325791.shtml>
- [94] Li Keqiang and Rousseff Unveiled the Groundbreaking Ceremony of Brazil's Belo Monte Hydropower UHV Transmission Project. SGCC News. 2015-05-21. <http://www.sgcc.com.cn/ywlm/projects/ultrahighvoltage/05/325790.shtml>
- [95] China's First Successful Overseas Bid, Belo Monte Hydropower UHV Transmission Project, Starts Construction in Brazil. *Xinhua News Agency*. 2015-05-30. <http://www.sgcc.com.cn/ywlm/mediacenter/inspotlight/05/326756.shtml>
- [96] U.S.-China CERC, 7th Steering Committee Meeting. Overview by U.S. & China CERC Directors. 2015-06-01. http://www.us-china-cerc.org/pdfs/June_2015_Steering_Committee_Meeting/CERC_Directors_Joint_Brief_v8_English1_June_2015.pdf
- [97] China's Nuclear Power Installed Capacity to Reach 30GW by the End of 2015. SGCC News. 2015-06-24. <http://www.sgcc.com.cn/ywlm/mediacenter/industrynews/06/327425.shtml>
- [98] Jane Qiu. Clean-energy development in China. *National Science Review* 2 (2015) 528-532. doi:10.1093/nsr/nwv064. 2015-10-27.
- [99] Tim Buckley, Tom Sanzillo. Past Peak Coal in China. Institute for Energy Economics & Financial Analysis. 2015-11-13. http://ieefa.org/wp-content/uploads/2015/11/IEEFA_Peak-Coal_November-2015.pdf
- [100] Adam Rose, Chen Aizhu. China to cut on-grid tariffs for solar, wind power: state planner. *Reuters*. 2015-12-24. <http://www.reuters.com/article/us-china-renewables-tariffs-idUSKBN0U703Y20151224>
- [101] China's CAP1400 Clears IAEA Safety Assessment. *Powermag*. 2016-01-07. <http://www.powermag.com/chinas-cap1400-clears-iaea-safety-assessment/?printmode=1>
- [102] Dimitri de Boer, Renato Roldao, Huw Slater. The 2015 China Carbon Pricing Survey, August 2015. China Carbon Forum. 2015-09-02. <http://www.chinacarbon.info/wp-content/uploads/2015/09/2015-China-Carbon-Pricing-Survey-EN.pdf>
- [103] Ming Zeng, Shicheng Wang, Jinhui Duan, Jinghui Sun, Pengyuan Zhong, Yingjie Zhang. Review of nuclear power development in China: Environment analysis, historical stages, development status, problems and countermeasures. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 59 (2016) 1369-1383. doi:10.1016/j.rser.2016.01.045. 2016-01-30.
- [104] Zhen-Yu Zhao, Yu-Long Chen, Rui-Dong Chang. How to stimulate renewable energy power generation effectively? – China's incentive approaches and lessons. *Renewable Energy* 92 (2016) 147-156. doi:10.1016/j.renene.2016.02.001. 2016-02-11.
- [105] Eric Ng. China's under-utilised ultra-high-voltage power lines no silver bullet to rid grid of bottlenecks. *South China Morning Post*. 2016-02-14. <http://www.scmp.com/business/article/1912878/chinas-under-utilised-ultra-high-voltage-power-lines-no-silver-bullet-rid>
- [106] Nectar Gan, Li Jing. China's climate envoy bullish on hitting reduction goal for 2020. *South China Morning Post*. 2016-02-23. <http://www.scmp.com/news/china/policies-politics/article/1916025/chinas-climate-envoy-bullish-hitting-reduction-goal>
- [107] Deborah Seligsohn, Angel Hsu. How China's 13th Five-Year Plan Addresses Energy and the Environment. *ChinaFile*. 2016-03-10. <https://www.chinafile.com/reporting-opinion/environment/how-chinas-13th-five-year-plan-addresses-energy-and-environment>

- [108] Alvin Lin. How China's 13th Five Year Plan Climate and Energy Targets Accelerate its Transition to Clean Energy. Natural Resources Defense Council. 2016-03-13. <https://www.nrdc.org/experts/alvin-lin/how-chinas-13th-five-year-plan-climate-and-energy-targets-accelerate-its>
- [109] Tim Buckley. New China energy data: coal imports down a further 10%. *Renew Economy*. 2016-03-14. <http://reneweconomy.com.au/2016/new-china-energy-data-coal-imports-down-a-further-10-30570>
- [110] Climate, energy and China's 13th Five-Year Plan in graphics. *Chinadialogue*. 2016-03-18. <https://www.chinadialogue.net/article/show/single/en/8734-Climate-energy-and-China-s-13th-Five-Year-Plan-in-graphics>
- [111] James Paton. Chinese Nuclear Plant Moves Closer to Start, Westinghouse Says. Bloomberg. 2016-03-18. <http://www.bloomberg.com/news/articles/2016-03-18/chinese-nuclear-plant-moves-closer-to-start-westinghouse-says>
- [112] RECAI scores and rankings at May 2016. *Ernst & Young*. 2016-06-05. <http://www.ey.com/GL/en/Industries/Power---Utilities/EY-renewable-energy-country-attractiveness-index-our-index>
- [113] BP Statistical Review of World Energy June 2016. BP. 2016-06-17. <http://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>
- [114] Energy use (kg of oil equivalent per capita). The World Bank. 2016-08-03. <http://data.worldbank.org/indicator/EG.USE.PCAP.KG.OE?end=2013&start=1971&view=chart> :
- [115] Nuclear Power in China. World Nuclear Association. 2016-08-19. <http://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/china-nuclear-power.aspx>