

LETTER GÉOPOLITIQUE DE L'ÉLECTRICITÉ



La Lettre « Géopolitique de l'Electricité » est la seule publication sur ce thème en langue française. Elle est mensuelle. Nous n'avons aucun objectif militant. Nous tentons d'approcher la vérité, en décrivant par des données objectives le passé proche et l'actualité des secteurs électriques ainsi que leurs conséquences. Les faits sont privilégiés aux jugements de valeur sur la finalité des politiques comme celles concernant le climat. Nos études sont inédites. Les données proviennent des instituts de statistiques ainsi que des acteurs du terrain : réseaux de transport, compagnies d'électricité, rapports officiels, associations professionnelles ou ONG. La diffusion de nos informations, à condition d'en citer l'origine, est libre.

Directeur de la Publication: Lionel Taccoen
Rédactrice en chef : Emma Legrand



L'indispensable réduction des coûts du nucléaire La voie chinoise...d'ascendance française

I) Les grands projets nucléaires sont des « mégaprojets ».

Le coût de construction d'un réacteur est le facteur largement dominant du coût de l'électricité qu'il produit (Cf. Annexe 1). Le 18 décembre 2025, EDF a présenté le devis EPR2 pour six nouveaux réacteurs en France. L'économiste Jacques Percebois, avait averti quelque temps auparavant, que de tels « grands projets » (pas uniquement nucléaires) dépassaient « systématiquement ou presque » les devis initiaux¹. Les « grands projets » ou « mégaprojets » en question se situent dans les domaines de l'énergie, du transport, de l'armement, des projets urbains ou des systèmes d'information, etc... Leur définition, empruntée à un de leurs spécialistes les plus connus, Bent Flyvbjerg est : « Des projets à grande échelle, complexes...coûtant un milliard de dollars ou plus, s'étendant sur des nombreuses années, impliquant des multiples parties prenantes publiques et privées ... en impactant la vie de millions de personnes »³. Les mégaprojets donnent lieu, effectivement à des dépassements importants, aléatoires, voire catastrophiques au point qu'ils semblent subir une fatalité.

¹ Cité dans la Tribune, 24 juillet 2025-« Nucléaire : entre SizewellC et les six EPR2 français, EDF devra faire deux fois moins cher »-p.20

Aujourd’hui, nous savons qu’il n’existe aucune fatalité. Bien au contraire.

Maîtriser les prix des mégaprojets et les réduire est un fabuleux enjeu pour la planète, car notre civilisation y consacre environ 8% du PNB mondial² (ordre de grandeur), bien plus que les dépenses militaires. La gestion des mégaprojets est donc l’objet de recherches intenses. Des résultats sont obtenus :

-En 2019, Christophe Midler publie dans la Jaune et la Rouge³ un article au titre significatif : « Les mégaprojets, de la fatalité au renouveau ». Aucune fatalité : il énonce des « facteurs de réussite » permettant aux mégaprojets d’échapper aux dérives et incertitudes tout en permettant des fortes réductions de coûts.

-En 2023, une étape décisive est franchie. Bent Flyvbjerg publie l’analyse d’une base de 16 000 mégaprojets, répartis dans 136 pays, issus de plus de vingt activités différentes, dont l’énergie. Cette imposante documentation, encore incomplète dans certains domaines, permet de valider d’importantes conclusions⁴ :

-Aujourd’hui, en très grande majorité, les grands projets ou mégaprojets, montrent des dérives de coûts et de délais, certaines catastrophiques. D’où le constat de Jacques Percebois.

-Une faible minorité respecte les devis annoncés. Incertitude et coûts sont spectaculairement réduits.

- La clef de ce succès est leur mode de gestion entraînant des coûts très bas et maîtrisés. On y retrouve les « facteurs de réussite » de Midler et les préconisations de Flyvbjerg qu’il nomme savamment ses « onze heuristiques pour une meilleure gouvernance des mégaprojets »⁴. En fait, ce sont les mêmes méthodes.

Les constructions des centrales nucléaires sont des mégaprojets, tels que définis plus haut. Il existe donc des modes de gestion permettant de réduire fortement leurs coûts en les maîtrisant. Considérer les chantiers nucléaires comme des mégaprojets est une nouvelle manière d’aborder leur étude. C’est changer de paradigme. Pour le valider, il suffit de vérifier que des mégaprojets nucléaires ont réussi à maîtriser leurs coûts en les réduisant, selon des méthodes cohérentes avec celles de Midler et Flyvbjerg. C’est effectivement le cas.

Deux programmes nucléaires montrent, de façon spectaculaire, que les « facteurs de réussite » des mégaprojets y ont été utilisés, en dehors de toute référence aux études citées ci-dessus, mais en les confirmant. Historiquement, le premier est le Programme Messmer, dont la genèse, qui dura trente ans, remonte à Pierre Massé, passe par Marcel Boiteux et se finalise avec Michel Hug. Les coûts des chantiers, maîtrisés, furent rapidement divisés par deux à trois par rapport aux chantiers américains que les Français étaient censés copier. L’autre concerne des programmes nucléaires chinois actuels, aux coûts de chantier également maîtrisés et les plus bas au monde. L’industrie chinoise a retrouvé les « facteurs de réussite » ou les a conservés depuis la grande époque de la collaboration sino-française⁵. Nous montrons dans cette Lettre « Géopolitique de l’Électricité » que les modes de gestion du Programme Messmer hier et des Chinois aujourd’hui sont celles préconisées par les études actuelles sur les mégaprojets. La jonction est faite. **Ce sont bien des « facteurs de réussite » dans la gestion des chantiers nucléaires qui amèneront de fortes réductions des coûts.** EDF a raison en observant et en s’inspirant de « l’industrialisation à la chinoise ».⁶

Il existe bel et bien, une nouvelle discipline, la science des grands projets qui concerne une part non négligeable des activités humaines.

II) Comment réussir les mégaprojets⁴

(Traduction libre du titre de l’ouvrage de Flyvbjerg, « How big things get done »⁴)

II.1 D’abord une équipe de pilotage constituée en « Groupe uni et déterminé »

²“What you should know about megaprojects and why”-Abstract-Feb.2014-Univ. Of Oxford-Bent Flyvbjerg-

³ Christophe Midler-La Jaune et la Rouge-N°745-Mai 2019-« Les mégaprojets, de la fatalité au renouveau »

⁴ « How big things are done » Bent Flyvbjerg-Ed Currency-2023-Ed. française, “Comment les grands projets se réalisent”-Ed Diateino-2024

⁵ La Revue de l’Energie-« La coopération nucléaire franco-chinoise : histoire d’un modèle de développement partagé »-mars avril 2015-Felix Torres

⁶ Cf. déclarations de Thierry Le Mouroux dans Les Echos-« Nucléaire : EDF révise à la hausse... »-19-20 décembre 2025- Par Amélie Laurin

Un mégaprojet, nucléaire ou pas, a des caractéristiques extrêmes, par la multiplicité des intervenants, les inconnues qu'il recèle, sa durée, la multiplicité des interfaces. Cela engendre des fragilités qui se traduisent souvent par des dérives importantes et récurrentes. Une solide et spécifique équipe de pilotage est nécessaire.

Pour Midler³, ce pilotage nécessite « une entité spécifique forte et intégrée... impliquant un management qui transcende les frontières institutionnalisées entre les acteurs de maîtrise d'ouvrage (MOA), de maîtrise d'œuvre (MOE) et les responsables de lots ». Elle doit être capable d'organiser une solidarité entre contributeurs internes, d'animer le dialogue avec les parties prenantes extérieures et d'intégrer « les différentes compétences [comme] l'ingénierie courante ». Il faut « privilégier l'organisation de la communication ». Pour sa part, Flyvbjerg donne une importance majeure au choix du maître d'œuvre qui mettra en place un « Groupe uni et déterminé » que « l'on observe toujours au sein d'un mégaprojet réussi »⁴. Il en fixe les tâches :

La première est de s'assurer que le mégaprojet est bien adapté à l'objectif recherché, et de vérifier que l'industrie disponible est capable de le réaliser. Ensuite, l'équipe de pilotage devra mettre en œuvre les deux grandes étapes du mégaprojet :

- la phase préparatoire, appelée « planification », une planification bien spécifique, qui sera précisée ci-après.
- la phase de construction proprement dite, en chantier ou/et usine.

Beaucoup de problèmes sont liés au choix de l'équipe de pilotage. Prenons le cas du projet SCAF, futur avion de combat européen dont la maîtrise d'œuvre, confiée au départ à Dassault Aviation, est remise en question⁷. L'avenir du SCAF, de ce fait, est menacé. En sens inverse on constate que le Programme Messmer et la rénovation de la Cathédrale de Paris, deux mégaprojets réussis, furent réalisés sous une autorité unique. Pour le premier ce fut la Direction de l'Equipement EDF, maître d'œuvre **et** d'ouvrage, dirigée par Michel Hug. Le second fut réalisé sous l'autorité du Général Georgelin. Deux fortes personnalités.

Un mégaprojet recèle tant d'incertitudes et de décisions de toutes sortes à prendre sur le champ, que son pilotage ne se partage pas, sous peine de chaos. La gestion des grands projets fera encore des progrès. Cependant, une unité de pilotage en forme d'Autorité Unique, ayant des caractéristiques et les tâches proposées par Midler ou Flyvbjerg semble une bonne voie.

II.2 « Penser lentement et agir vite ». Une planification vivante.

Un mégaprojet, nucléaire ou non, recèle, par la multiplicité des intervenants une grande part d'inconnu. C'est cet inconnu, source d'incertitudes qui génère les aléas, donc les surcoûts et retards. Il faut faire reculer le hasard. Les mégaprojets qui réussissent présentent une phase de préparation aux travaux particulièrement poussée et minutieuse. Une planification vivante, bien particulière, **capable d'intégrer les innovations**.

-Le mégaprojet se bâtit par simulation numérique .La progression se fait par tâtonnements, par petites touches. « Après de nombreuses itérations la simulation se transforme en un objet rigoureux et détaillé, en un mot, un projet fiable »⁴. L'ensemble de ce travail doit être accompagné d'une recherche de données provenant des mégaprojets ayant au moins quelques similitudes. Il est rare qu'il n'y en n'existe pas.

-Le temps passé lors de cette première phase ne doit pas être mesuré. Il est bon marché et rendra possible une phase de construction plus courte, avec beaucoup moins d'aléas. Donc moins chère.

Dassault Aviation a développé des logiciels de conception assistée comme CATIA. Il est remarquable que l'architecte Frank Gehry l'ait adapté pour la construction du Musée Guggenheim de Bilbao⁴, mégaprojet *a priori* bien différent d'un avion de chasse.

Ce qui confirme que les mégaprojets forment un domaine spécifique, quelque soit leur technologie. C'est la manière dont ils sont gérés qui est le facteur clef de leur réussite.

Le chantier : la phase vulnérable

Supposons que le design définitif et fiable soit réalisé. Pas un clou ne sera planté qui n'ait été prévu (caricature détestable et fausse mais l'image est bonne). Reste toujours des détails imprévus ou oubliés .Le diable est dans les détails. Mais il y a aussi ce que certains appellent les « cygnes noirs », les menaces qui planent au-dessus d'un chantier et qui peuvent fondre sur lui sans prévenir. Tout ce que le réel peut receler pour gêner

⁷ GEO-« Projet SCAF : « le futur avion de combat européen menacé... » »-3/12/2025

des travaux : une épidémie, la découverte de vestiges archéologiques (comme sur le site nucléaire de Civaux), un changement de gouvernement, de nouvelles règles de sûreté... Un chantier nucléaire est ouvert à tous les vents et aux cygnes noirs. Il fonctionne fenêtres ouvertes. La parade : fermer les fenêtres rapidement.

Donc un chantier le plus court possible. Un design menant à « un projet fiable » autorise un temps de chantier court. Mais pour l'obtenir réellement, il faut imaginer et introduire certaines méthodes de construction : standardisation, construction par modules reproductibles ou en série, etc.

. II.3 –Commencer vite, une idée fausse.

Pourquoi, les solutions précédentes, certes validées très récemment par la base de données de Flyvbjerg ne sont pratiquées aujourd’hui que pour une faible minorité de mégaprojets ? Il y a plusieurs raisons.

Daniel Kahneman fut « le psychologue qui a révolutionné l'économie » en montrant « que nos choix ne sont pas vraiment guidés par la rationalité comme le voudrait la théorie économique »⁸. Cela lui a valu le Prix Nobel d'économie en 2002. Il a étudié la façon dont les décisions étaient prises dans un contexte incertain, comme cela est toujours le cas pour un mégaprojet. En ce cas les « jugements ... rapides et instantanés constituent le système d'exploitation par défaut de la prise de décision humaine... [Ils mènent à] des jugements instantanés où le cerveau n'est pas trop exigeant en matière d'information ».

Dans le domaine des mégaprojets, et surtout pour les plus grands auxquels nous nous intéressons ici, les responsables, dirigeants politiques, ingénieurs ou architectes, s'investissent énormément. Ils ont hâte que leur œuvre aboutisse. Pour cela ils ont tendance à agir selon « des jugements instantanés » sans « être trop demandeur d'informations ». La planification leur semble une étape sans grand intérêt qui retarde la réalisation du mégaprojet et sa mise en service réussie. Ils démarrent donc les travaux **avant** que le design soit achevé, pressés de s'attaquer aux « vrais problèmes ». Ils font preuve généralement d'un optimisme qui les trompe.

Les responsables des mégaprojets sont confortés dans cette démarche par des économistes, certains réputés, comme Albert O. Hirschman (1915-2012) de l'Université de Columbia et d'Harvard. C'est ainsi qu'Hirschman écrit que la planification est une perte de temps et qu'il faut privilégier la créativité, dont il enseigne qu'elle est capable de résoudre tous les problèmes au fur et à mesure de leur apparition. Hirschman ajoute que la planification, par ses contraintes handicape la créativité, qui en démocratie, doit être libre⁹.

En fait, dans le cas des mégaprojets, où la part d'inconnu est gigantesque, l'observation sur le terrain des 16 000 mégaprojets de Flyvbjerg donne une réponse sans ambiguïté :

Le début prématué des chantiers conduit à la catastrophe. Il mène directement au chemin de croix classique avec retards et surcoûts, pouvant entraîner des factures de plusieurs fois le devis initial. Il s'agit même de la cause principale des désastres, y compris pour le nucléaire. On trouvera quelques exemples Annexe 1. Une liste complète serait, hélas, bien trop longue.

Mais la créativité doit avoir sa place. La planification préalable minutieuse est la solution à condition qu'elle comporte un dispositif permettant une amélioration continue par paliers. Toute proposition d'innovation sera recueillie. Une sélection sera faite par l'expérimentation (simulation) ou l'expérience.

II.4 L'alarme révélant une préparation insuffisante.

L'observation montre qu'un grand projet ou mégaprojet, lorsqu'il dérive, dérive toujours dès le début. Si cela se produit, il s'agit d'un signal grave. Un surcoût et/ou un retard annoncé dès le début des travaux annonce le chemin de croix classique décrit ci-dessus. Le pilotage du mégaprojet doit être revu.

La préparation minutieuse et complète d'un mégaprojet autorise une phase de travaux avec moins d'aléas, rapide et beaucoup moins chère. La tentation de l'action immédiate, négligeant la phase de préparation, est la cause principale des échecs des mégaprojets, dont ceux des centrales nucléaires. Le diagnostic de la mauvaise préparation est l'apparition, dès le début des travaux de retards et surcoûts qui vont s'accumuler. Un chemin de croix classique, qui n'est pas réservé aux projets de réacteurs ! La solution est une

⁸ « Daniel Kahneman, le psychologue qui a révolutionné l'économie »-Christian Schmidt--Le Monde 17/4/2024

⁹ Il existe un « Centre Albert Hirschman sur la Démocratie » au sein de l'Institut de Hautes Etudes Internationales et du Développement(IHEID).de Genève. Fervent démocrate, Hirschman s'opposa au régime de Vichy et dut fuir aux Etats-Unis...

planification minutieuse et complète laissant toute sa place à la créativité, car vivante et permettant des améliorations par paliers. Bien loin des planifications bureaucratiques du passé.

III) L'exemple d'un mégaprojet nucléaire réussi : le Programme Messmer.

La description du Programme Messmer permet de comprendre, comment sur le terrain, se mettent en place les préconisations similaires à celles de Midler et Flyvbjerg. EDF, à ses débuts, eut comme objectif essentiel de fournir l'électricité nécessaire à la reconstruction du pays, ruiné par la guerre. Il fallut construire rapidement, et pas cher, un ensemble de centrales électriques. **Ce fut un grand projet ayant déjà les caractères d'un mégaprojet dans sa définition actuelle.** Ce mégaprojet fut une réussite.

Michel Hug, qui a connu la fin de cette période a adapté au nucléaire les méthodes de ce succès, en les perfectionnant. Il les a décrites dans un mémoire intitulé « Un Siècle d'Energie Nucléaire »¹⁰, indispensable pour comprendre comment a été réalisé le Programme Messmer. Il sera largement cité ici.

III.1 : la genèse

La gestion efficace d'un mégaprojet comporte d'abord l'installation du pilotage. En 1946, Pierre Massé, l'un des fondateurs d'EDF décida que cette entreprise serait maîtresse d'œuvre **et** d'ouvrage des nouvelles centrales nécessaires à la reconstruction du pays. Il créera pour cela la Direction de l'Equipement EDF dont il fut le premier Directeur. La première tâche d'une équipe de pilotage doit être de fixer un objectif crédible et précis. Ainsi, il fut décidé que l'objectif serait une augmentation de 7% de la production d'électricité par an, soit un doublement tous les dix ans. Pierre Massé est plus connu comme Commissaire au Plan du Général de Gaulle (1959-1966). Son ouvrage important est « Le Plan ou l'Anti Hasard ». Lors de la construction de ce parc de centrales la phase de planification fut capitale. Elle prit le temps nécessaire qui fut largement rattrapé par un temps de construction rendu plus court. L'objectif de doublement de la production tous les dix ans fut atteint. Il permit de fournir au pays l'électricité nécessaire à sa reconstruction.

La phase de préparation avant les chantiers fut minutieuse et complète. Pour l'hydraulique, le seul accident notable lié à un barrage (Malpasset) sera celui d'une installation non EDF et non productrice d'électricité. Pour les centrales thermiques à flammes, la phase de préparation fut organisée d'une manière radicale. Furent utilisées des **modèles déjà en service**, donc sûrs, permettant des chantiers hyper courts, **en utilisant des licences**. Ensuite les unités de production furent construites en série avec standardisation. Michel Hug écrit : « Le palier 250 MWe [des centrales thermiques à flammes] est le plus pédagogique ...37 tranches sur dix ans...De nombreux sous-paliers apportent des perfectionnements successifs. C'est cette leçon qui sera un des guides essentiels dans l'organisation du programme nucléaire. Elle est due à Jean de Chessé »¹⁰. **L'innovation était prévue et organisée dans les projets. Elle est le moteur des gains de coût.**

Une Autorité Unique. Une phase de préparation minutieuse et complète. Les chantiers les plus rapides possibles. Standardisation et maîtrise des innovations introduites par paliers, le mégaprojet de construction du parc électrique d'après guerre correspond aux caractéristiques des mégaprojets réussis décrits aujourd'hui.

Marcel Boiteux : l'optimum d'un système électrique

Pierre Massé revint à EDF comme Président de 1966 à 1969 et c'est sous sa présidence que Marcel Boiteux fut nommé Directeur Général. Avec Marcel Boiteux les réflexions sur le choix des investissements vont s'inscrire dans un cadre bien plus large, la gestion optimum d'un système électrique. Comme l'écrira en 2023 Jean Tirole, Prix Nobel d'économie, lors du décès de Marcel Boiteux : « il a changé la gestion de l'industrie électrique et plus généralement de toutes les industries de réseau ».¹¹

Marcel Boiteux refusa de financer la mise au point d'un modèle de réacteur. Pourquoi ne pas faire comme pour le thermique à flammes, construire le nucléaire sous licence ? Ce serait plus sûr et moins cher. L'affaire fut chaude, mais en 1970, Boiteux arracha la décision de faire fabriquer les chaudières nucléaires par

¹⁰ «Un Siècle d'énergie nucléaire»-Académie de Technologie-Michel Hug-Janvier 2009.

¹¹ Le Monde -11 septembre 2023-Tribune de Jean Tirole, Stefan Ambec, Claude Crampes.

Framatome, détenteur d'une licence de l'entreprise américaine Westinghouse dont les réacteurs fonctionnaient correctement Outre Atlantique. Ensuite, par des constructions en série et « par des perfectionnements successifs » via de « nombreux paliers et sous-paliers », comme l'avait montré Jean de Chessé pour le thermique à flammes, il serait possible de franciser. L'avenir montra que par son intelligence et sa lucidité, Marcel Boiteux avait fait le bon choix, et probablement le seul possible à l'époque.

La nomination de Michel Hug (1972)

«Quand je m'interroge sur la part que j'ai prise au succès [du Programme Messmer], il m'apparaît qu'elle est surtout d'avoir choisi Michel Hug ».¹² Boiteux, trop modeste, oublie l'exploit d'être parvenu à utiliser la licence américaine de Framatome. Il fit un second choix décisif. Il écarta Framatome de la conduite du Programme Messmer, qui pouvait sembler devoir lui revenir. **En préférant la Direction de l'Equipement EDF, il permit d'optimiser la conduite de ce Programme en prenant en compte les acquis de Pierre Massé et de ses successeurs.**

Il nomma comme Directeur de l'Equipement EDF Michel Hug, qui **venait de diriger un mégaprojet**, le barrage de Sainte Croix du Verdon, ouvrage non seulement producteur d'électricité mais aussi garantie de l'alimentation en eau de la région de Marseille. Boiteux le savait « dirigeant »¹²

Effectivement Hug dirigea une Autorité Unique : la Direction de l'Equipement EDF.

La technologie nucléaire ? Depuis dix ans EDF recrutait des jeunes ingénieurs, aussitôt instruits des subtilités de l'atome. Au sein de la Direction de l'Equipement EDF ils se mêlerent harmonieusement aux experts des grands chantiers (les hydrauliciens) et aux inventeurs de la construction par paliers (les thermiciens).

La Direction de l'Equipement EDF (5000 personnes) était devenue un « **Groupe Uni et Déterminé** » comme on en trouve toujours dans l'organisation des mégaprojets réussis⁴

L'apport de Michel Hug : l'optimum industriel¹⁰

Son premier apport fut de comprendre, que des méthodes utilisées pour d'autres centrales électriques étaient adaptables au nucléaire, et ensuite de réussir cette adaptation. Personne ne l'avait fait avant lui. Une grande partie des méthodes qu'il appliqua lors du Programme Messmer, standardisation et construction en séries, avec améliorations par paliers successifs, étaient déjà connues et nous n'y reviendrons pas. Cependant, il est à l'origine d'un apport personnel majeur, plutôt incompris. Un programme nucléaire, comme le Programme Messmer, est réalisé par un ensemble industriel imposant, fait de milliers d'entreprises. Hug estima que l'on peut y distinguer jusqu'à huit niveaux de sous-traitance.¹⁰

Se pose une question de fond: comment faire pour que cet ensemble fonctionne de façon optimum ? Afin de favoriser les innovations qui baisseront les coûts. Une première idée serait de permettre à chaque entreprise de fonctionner de façon optimum. Mais c'est l'ensemble formé par toutes les entreprises concourant au projet qui doit être optimisé. En prenant l'exemple des organes d'un être vivant, Michel Hug conclut :

« Un optimum global n'est jamais la somme d'optimums locaux »¹⁰

Il mit sur pied pour atteindre cet optimum global une organisation basée sur des délégations d'ensemblier aux sous-traitants de premier rang à **condition que la transparence de leurs actions soit totale** de telle sorte que chacun d'entre eux puisse s'adapter aux décisions des autres. Framatome fut désigné comme le premier de ces ensembliers délégues. La Direction de l'Equipement EDF, maître d'œuvre et d'ouvrage veilla à ce que cette transparence soit rigoureusement respectée. Il y eut, en particulier pour Framatome, de secs et publics rappels à l'ordre. Hug fut attristé en constatant que sa politique concernant les innovations avait été décrite comme un refus systématique. **Une contre-vérité à l'origine de graves incompréhensions du Programme Messmer.** Les ingénieurs sont par nature fort ingénieurs et donc généreux en propositions d'innovations. Pendant le Programme Messmer, aucune innovation « ne fut écartée a priori. Elle reste à l'état de proposition tant qu'elle n'a pas été recyclée dans l'ensemble du processus de validation final »¹⁰. Hug ira très loin pour les trier, et mettre en œuvre celles qui étaient sélectionnées : « Les premières tranches de Fessenheim sont initialement conçues comme des copies... Il apparaît comme une évidence que ce statut devait être remis en cause... pour devenir celui des précurseurs d'une grande série... ». Comme Jean de Chessé l'avait pratiqué pour

¹² Marcel Boiteux (Directeur Général d'EDF) dans « Haute tension »-Ed. Odile Jacob.

les « paliers » et « sous-paliers » des centrales thermiques à flammes, les tranches nucléaires en construction ne furent plus considérées « comme des copies » mais comme des lieux d'essai d'innovations, et ceci « **quels que puissent être les coûts et les retards impliqués** »¹⁰. Les innovations retenues étant reportées au palier suivant.

Hug conclut : « Ces méthodes, à elles seules, n'auraient pas permis d'assurer la réussite du programme nucléaire. Elles en ont été, néanmoins une composante indispensable. » Et d'ajouter : « A la fin de la décennie [des années soixante dix] on a ainsi pu voir **douze réacteurs mis en service en treize mois**. Ceci ne s'est encore jamais produit ailleurs dans le monde »¹⁰ En 2025, ce record était encore inégalé, même en Chine.

Il ne semble pas que la méthode de recherche de l'optimum global d'un ensemble industriel concourant à la réalisation d'un mégaprojet n'ait jamais été posée de cette manière. Elle reste à creuser.

III.2 Programme Messmer : une réussite exceptionnelle

-Des temps de chantiers « étonnamment courts » et des coûts très bas¹³. La comparaison entre coûts français et américains lors du Programme Messmer a été faite par Arnulf Grubler¹³. Les coûts français indiqués sont cohérents avec ceux donnés par la Cour des Comptes¹⁴. Les durées des chantiers sont « étonnamment courtes » et leurs coûts deviennent brusquement deux à trois fois plus bas qu'Outre Atlantique¹³ pour des réacteurs que les Français étaient censés copier. La France dispose toujours quarante ans plus tard d'une source d'électricité pilote, bon marché, décarbonée fournissant les 2/3 de son électricité et les exportations les plus importantes au monde. La démonstration de l'importance fondamentale du mode de gestion des projets nucléaires est éclatante et parfaitement en accord avec les conclusions de Midler³ et de Flyvbjerg⁴ Le coût d'un chantier nucléaire dépend d'abord de la gestion du projet correspondant. Il peut alors varier de 1 à 3.

-La reconstruction d'une industrie nucléaire nationale : Westinghouse souhaite collaborer.

En 1981, avec un an d'avance, Framatome mit fin à son accord de licence avec Westinghouse qui souhaita le remplacer par un accord de coopération. Accord que Westinghouse accepta de payer fort cher, en accordant à Framatome une liberté d'exportation. Ce qui permit la vente aux Chinois de deux réacteurs similaires à ceux de Gravelines, construits sous licence. Les capacités de Framatome, le licencié, avait dépassé celui de Westinghouse. L'accord entre les deux entreprises scellées par André Giraud, Ministre de l'Industrie, le 18 mars 1981 fut salué comme « un pas important vers l'indépendance de la France dans le nucléaire civil ».¹⁵ Au départ il avait été reproché à Marcel Boiteux de renoncer à l'indépendance nationale en choisissant une technologie étrangère celle de Westinghouse, entreprise américaine. *A contrario*, la méthode Boiteux, l'achat d'une licence, la méthode Hug pour les maîtrises d'œuvre et d'ouvrage et, last but not least, la remarquable créativité d'entreprises françaises, avant tout Framatome, avait abouti à la re-création d'une industrie nationale en un temps record !

Michel Hug écrit¹⁰ : « les réacteurs de standard N4, [dont la décision de construction des premiers, à Civaux, fut prise en 1980] affranchirent l'industrie nationale des licences et redevances » (Westinghouse pour le réacteur, Babcock pour la turbine avec l'arrivée des fort célèbres turbines Arabelle). Les innovations venaient des entreprises (Framatome pour l'îlot nucléaire), mais sélectionnées par EDF-Equipement. La conception du standard N4, le dernier du Programme Messmer fut informatisé en englobant les principaux fournisseurs. Une nouvelle génération de composants et d'ordinateurs fut mise en œuvre pour les automatismes.

La voie du succès était trouvée. Il ne restait qu'à la suivre. Le Programme Messmer, mégaprojet réussi, avait largement contribué à reconstruire une industrie nucléaire française indépendante. A l'époque, elle devint la première au monde. Le coût des réacteurs étaient deux à trois fois plus bas qu'aux Etats-Unis

III.3 Dissolution d'EDF-Equipement, maître d'œuvre des projets de centrales.

¹³ Arnulf Grubler- « The costs of the French nuclear scale up... » -Energy Policy-38 (2010) pp.5174-5188

¹⁴ Cour des Comptes-Les coûts de la filière électronucléaire-31 janvier 2012

¹⁵ Le Monde-24 janvier 1981-«Framatome met fin à l'accord de licence avec Westinghouse». Il est possible que certaines clauses de l'accord de collaboration-concernant les transferts de technologie- soient encore aujourd'hui non publiques.

En 2000, les besoins français en électricité sont satisfaits. EDF est devenu le premier exportateur mondial de courant. La Direction de l'Equipement EDF, pilote des projets de centrales EDF, fut dissoute, faute de charge de travail suffisante, les quelques survivants furent rattachés à la Direction de la Production.

La construction de l'EPR de Flamanville (premier béton) commença le 3 décembre 2007. La Cour des Comptes constata : « Jusqu'en 2015, le projet n'a pas été piloté par une véritable équipe projet » et fustigea « le caractère incomplet du design [due à une planification inachevée] »¹⁶. Le « Groupe uni et déterminé » qui organisait les projets de centrales d'EDF n'existe plus. L'EPR de Flamanville connaîtra donc le chemin de croix classique, une longue série de retards et surcoûts décrit magistralement par Martin Folz¹⁷. La gazette mondiale des constructeurs de réacteurs, Nuclear Engineering International, dans un éditorial, annonça que les Français avaient perdu la main¹⁸. D'où une perte de crédibilité de l'industrie nucléaire française qui venait de lui coûter le contrat du siècle à Abou Dhabi. Echec, qui, en France fut largement incompris. Seul François Roussey, ancien Président d'EDF, dans le Rapport qui lui fut demandé pour expliquer ce fiasco, mentionnera comme cause la perte de crédibilité de l'industrie nucléaire française. En avait-il saisi l'origine ? C'est lui qui avait supprimé la Direction de l'Equipement EDF en 2000.

La suite

La Cour des Comptes¹⁹ à chiffré à 23,7 milliards d'euros le coût de l'EPR de Flamanville soit environ 15 000 euros /kWe. Le coût du chantier suivant celui d'Hinkley Point au Royaume Uni (deux EPR), devrait être terminé en 2030, sera probablement plus bas, tout en restant proche. Viennent ensuite deux projets d'EPR toujours au Royaume Uni. Le premier(Sizewell), a été décidé en juillet 2025²⁰par le Gouvernement de Londres. Coût estimé à 38 milliards de £ (environ 43 milliards d'euros) soit 13 500 euros/kWe. Le second concerne les six premiers réacteurs français du Nouveau Programme et viendra dix huit mois après celle de Sizewell. Leur coût est annoncé à 83 milliards d'euros, soit 8 300 euros(2025)/kWe²¹, mais les deux premiers (Penly) devraient être plus chers.

IV) Chine : le Programme Hualong One, un mégaprojet réussi

Une industrie nucléaire en grande forme. Une référence mondiale

Sur environ 70 réacteurs en construction dans le monde, presque la moitié l'est en Chine. Son industrie nucléaire est présente dans l'ensemble des activités de l'atome civil, généralement dans le peloton de tête. Aujourd'hui, la production de son parc de réacteurs, en rapide expansion, a dépassé celle du parc français, et il serait surprenant qu'avant dix ans il n'est pas rejoint celui des Etats-Unis, le premier du monde. Il ne fournit que 4,5% de la production totale d'électricité chinoise, mais celle-ci est plus de trois fois supérieure à celle de l'Union Européenne. La raison profonde de cette situation est que l'électricité nucléaire, présente désormais des coûts comparables aux renouvelables et même aux centrales à charbon désulfurées²².

L'électricité nucléaire a, en particulier, trouvé sa place dans les provinces côtières, très industrialisées. L'industrie nucléaire chinoise est solidement ancrée dans sa place de première au monde. Elle prouve que le nucléaire est rentable et, de ce fait, peut être considérée comme la référence mondiale.

Quels sont les réacteurs construits par l'industrie chinoise ?

Le Hualong One, 1100-1200 MWe, de conception purement chinoise est produit en deux versions légèrement différentes par les compagnies CNNC et CGN. Il représente plus de la moitié des réacteurs en construction en Chine et est aussi destiné à l'exportation. En janvier 2006, CNNC indique qu'il correspond aux « normes de sécurité mondiales les plus récentes et les plus élevées » (confirmé par l'Autorité britannique) et

¹⁶Cour des Comptes-“La filière EPR”-9/7/2020-Synthèse-p.8

¹⁷Vie Publique-“La construction de l'EPR de Flamanville”-Jean-Marie Folz-Octobre 2019

¹⁸ Nuclear Engineering International-6/10/2011-Caroline Peachey-« Construction vs. Communication »

¹⁹ Cour des Comptes-« La filière EPR : une dynamique nouvelle, des risques persistants »-Janvier 2025

²⁰ Gov.UK-Press release-« Sizewell C gets green light with final investment decision »-July, 22, 2025

²¹Les Echos des 19 et 20 décembre 2025 : « Nucléaire : EDF révise à la hausse le devis des réacteurs EPR2 »-Amélie Laurin

²²World Nuclear Association-« Nuclear Power in China »-Jan.16, 2026

qu'avec « 41 unités approuvées, en construction ou déjà en service dans le monde entier », le Hualong One est devenu « le réacteur principal du développement de l'énergie nucléaire »²³ de la planète. L'industrie chinoise construit également une version chinoise du réacteur américain AP1000 de Westinghouse (dont les chantiers sont bien moins chers qu'aux Etats-Unis) et a commandé quelques réacteurs VVER russes, un produit correct, proposé partout dans le monde, mais un peu une fin de race. Mais la part des Hualong One a tendance à augmenter avec le temps. Les coûts et délais de construction en font un sérieux rival de l'EPR.

Coût et délais de construction. Exportations limitées pour le moment.

Les coûts chinois sont à prendre avec précautions²⁴. Néanmoins ceux des réacteurs sont étroitement corrélés avec les durées de chantier, eux bien connus. En 2024, le coût d'un Hualong One a été estimé à 3,1 millions de \$ soit (environ) 2 500 euros/kWe installé²⁵. La première unité chinoise avait été construite en 68,7 mois²³ et la dernière terminée en 5 ans et deux mois.²⁶ Au Kazakhstan en août 2024, CNNC fit une offre pour un Hualong One à 2,8 milliards de \$²⁷, soit environ 2300 euros/kWe. Le dernier Hualong One exporté au Pakistan est estimé à 3,7 milliards de \$, soit moins de 3000 euros/ kWe²⁸. Plus récemment, CNNC, officieusement, a fait connaître à une personnalité portugaise éminente de l'énergie et des sciences, Pedro Sampaio Nunes²⁹ que le coût de deux réacteurs Hualong One au Portugal serait de 10 milliards d'euros, soit environ 4 500 euros/kWe. Donc, vraisemblablement deux fois moins cher que les premiers EPR-2. Pourquoi la Chine n'exporte pas plus de Hualong One ? Probablement parce que leur rythme de construction s'est considérablement accru en Chine et, que pour le moment, les capacités de production de certaines pièces, comme la cuve, sont (encore) limitées.

Le Hualong One : l'ascendance française

La World Nuclear Association annonça en septembre 2014, l'arrivée du premier réacteur de conception purement chinoise, le Hualong One en ajoutant qu'il était « d'une certaine ascendance française, mais né de deux importantes compétitions internes »³⁰. Passons sur les compétitions internes (ici entre CNNC et CGN), courantes dans l'Empire du Milieu, pour étudier la « certaine ascendance française ».

L'Accord Westinghouse-Framatome, scellé par André Giraud(p.7) levait pour Framatome tout obstacle à l'exportation. Deux réacteurs de type M310 proches de ceux de Gravelines furent construits à Data Bay, province de Guangdong et commença alors une riche collaboration avec l'industrie française, dont naturellement Framatome⁵. Mais les Chinois, et leur Premier Ministre Li Peng tenait à ce que les ingénieurs chinois apprennent **comment EDF maîtrisait les projets et réduisaient coûts et délais par rapport aux projets américains que les Français étaient censés copier**. Li Peng prit la même décision que Marcel Boiteux. **Le rôle d'architecte industriel du projet de Daya Baya, fut conçu comme en France et confié à EDF** ⁵. Les Chinois, comme les Français l'avait fait à partir des réacteurs de Westinghouse, donc par améliorations successives sélectionnées, de palier en palier, sont parvenus à des modèles de plus en plus chinois, puis à un réacteur dépourvu de toute propriété intellectuelle étrangère, y compris française. C'est le Hualong One, rival de l'EPR. Exactement le chemin suivi pour passer des réacteurs Westinghouse américains aux réacteurs français N4.

Aujourd'hui, le Hualong One bénéficie « d'un dispositif complet et avancé de gestion de construction ... Il est le seul projet nucléaire de troisième génération livré dans les délais »²³ et au coût annoncé. Cela signifie que l'industrie chinoise maîtrise la gestion des mégaprojets nucléaires , comme l'industrie française jadis. Les Hualong One, comme les réacteurs de Gravelines, ont des prix beaucoup plus bas que les autres et se construisent en cinq ans. Telle est l'explication principale des écarts considérables de prix entre les chantiers occidentaux et ceux des Hualong One.

²³ https://en.cnnc.com.cn/fr/2025-05/12/c_1091926.htm

²⁴Cf. "Où va la Chine"-Les Echos-10 décembre 2025-Christian Saint Etienne

²⁵Nucnet « China/Construction of two Hualong One nuclear plants begins at Jinqimen »-Feb.20, 2024

²⁶ « Grid connection for Zhangzhou 2 » Nuclear Engineering International-Nov. 25, 2025

²⁷ Kursiv Media, August ,28, 2024- "Chinese bidder reveals estimated cost of nuclear power plant in Kazakhstan"

²⁸ « Pakistan begins construction of Chasma 5 »-Nuclear Engineering of International 5-Jan.3, 2025

²⁹ Jornal de Negocios- Lisbonne- 27 juillet 2025.Nunez fut Directeur Adjoint de Cabinet de Cardoso E Cunha, Commissaire européen à l'Energie (1986-1989), Secrétaire d'Etat à la Science et à l'Innovation du Gouvernement portugais (2004-2005)

³⁰World Nuclear Association-« China's new nuclear baby »-Sept 2, 2014

Conclusion

Les importants écarts de coûts de construction de réacteurs sont très étudiés car ils sont directement liés aux coûts de l'électricité produite. Parmi les causes de ces écarts on retrouve souvent la « qualité de l'organisation » des projets³¹. La comparaison avec les coûts de construction du réacteur vedette chinois, le Hualong One, apparaît comme importante car ils sont les plus bas au monde. Or ce réacteur joue un rôle important dans le développement actuel de l'énergie nucléaire et la « qualité de l'organisation » de ses réalisations est remarquable.

Les projets de centrales nucléaires nécessitent la contribution de fort nombreuses entreprises (6000 pour le Hualong One) réparties sur des niveaux de sous-traitance allant jusqu'à 8 (Programme Messmer). Cela les fait entrer dans la catégorie des « grands projets » ou « mégaprojets ». Or comme l'a rappelé récemment Jacques Percebois, en faisant allusion aux premiers réacteurs EPR2, les coûts annoncés pour de tels « grands projets » sont « systématiquement ou presque » dépassés¹. Outre le nucléaire, ces « mégaprojets » se retrouvent dans les autres secteurs énergétiques, le transport, les grandes réalisations urbaines, l'armement, les systèmes d'information etc. Ils semblent subir une sorte de fatalité, faite de dérives de coûts souvent importantes, voire catastrophiques. D'intenses recherches pour maîtriser leurs coûts sont menées. Christophe Midler en 2019, dans la Jaune et la Rouge écarta toute fatalité et énonça des « facteurs de réussite » bannissant les incertitudes en réduisant drastiquement les coûts³. Bent Flyvbjerg confirma magistralement en 2023 par une analyse de 16 000 (seize mille !) mégaprojets issus de 136 pays et d'une vingtaine de domaines⁴. Une organisation de mégaprojet dirigée par une autorité unique, prenant son temps pour réaliser un design complet et ouvrant la voie à un chantier court permet de bannir l'incertitude et de diviser les coûts par deux ou trois, en respectant les délais annoncés. Une nouvelle science est née : la gestion des mégaprojets. C'est bien la « qualité de l'organisation » qui fait la différence.

Certaines entreprises le savent depuis longtemps, comme Dassault Aviation, ou EDF au siècle dernier, qui dut, dès 1946 construire un vaste parc de centrales. Un mégaprojet réussi. Pierre Massé, connu comme un grand Commissaire au Plan, fut aussi l'un des fondateurs d'EDF. Il dota EDF d'une organisation de conduite de mégaprojets, une autorité unique nommée Direction de l'Équipement EDF. Dirigée par Michel Hug qui adapta ses méthodes au nucléaire¹⁰, elle organisa le Programme Messmer. Elle maîtrisa en les sélectionnant les innovations proposées par Framatome. Les coûts des réacteurs français devinrent rapidement deux à trois fois moins chers que les réacteurs américains qu'ils étaient censés copier. Westinghouse souhaita un accord de collaboration avec Framatome pour profiter des innovations. Scellé par André Giraud, il prévoyait un prix à payer, fort élevé : la possibilité pour Framatome d'exporter librement ses réacteurs. Westinghouse signa¹⁵.

Cela permit la vente de deux réacteurs à la Chine. Commença alors une riche collaboration entre Framatome et l'industrie chinoise. Mais le Premier Ministre chinois, Li Peng tint à ce que les méthodes d'EDF de gestion des projets nucléaires soient utilisées, comme en France⁵. Comme nous avions francisé les réacteurs américains, les Chinois ont sinisé nos réacteurs. Le résultat est le Hualong One, « d'ascendance française » (dixit la World Nuclear Association³⁰). Comme ses ancêtres, les réacteurs de Gravelines, il est bien moins cher que ses concurrents et se construit en cinq ans. L'industrie française, grâce à la refondation de Framatome réalisée par Bernard Fontana est revenue au sommet de la technologie nucléaire. EDF doit maintenant retrouver ses compétences en gestion de mégaprojets nucléaires, largement amoindries en 2000 par la suppression de la Direction de l'Équipement EDF de Pierre Massé...alors que les Chinois les ont acquises et cultivées. EDF souhaite s'inspirer de « l'industrialisation à la chinoise ». Des ingénieurs français sont envoyés en Chine.⁶ Les rôles sont inversés par rapport au siècle dernier. ***Qu'importe si la voie chinoise (d'ascendance française) conduit à maîtriser et à diviser le coût des chantiers nucléaires par deux ou trois . Il faut réapprendre à gérer les mégaprojets nucléaires. Il faut aussi éviter que la Chine devienne pour le nucléaire, comme pour tant d'autres domaines, l'usine du monde.***

³¹« Combien coûte le nucléaire ? » Note technique SFEN-2022-p.57 citant « Projected costs of generating Electricity » NEA-2020

Annexe 1 : Coût des chantiers et coût de l'électricité produite.

Le LCOE (Levelized Cost Of Electricity) en français coût actualisé de l'électricité, permet de comparer le coût moyen de production d'1 MWh (ou d'1kWh) sur toute la durée de vie d'une centrale électrique. Les coûts vont généralement de 20 à 150 euros/MWh. Pour les renouvelables, les coûts indirects, liés à l'intermittence ou aux réseaux ne sont pas inclus et peuvent se révéler importants.

Le LCOE mesure un coût d'énergie.

Pour le nucléaire, les investissements fort lourds de construction des réacteurs pèsent énormément sur le LCOE. Une étude américaine concernant les réacteurs à eau légère, qui composent l'essentiel des parcs existants et la quasi-totalité des réacteurs actuels dits de troisième génération, montre que 78% des LCOE ont comme origine les investissements de construction³². **Les coûts de construction des réacteurs jouent un rôle majeur dans la formation de ceux de l'électricité qu'ils produisent.**

Pour les comparer, on les mesure en euros/ KWe installé. Pour le nucléaire actuellement, ils vont de 2500 euros/kWe (réacteur Hualong One en Chine) à plus de 10 000 euros/kWe (AP1000 américain et EPR français).

Ces chiffres mesurent le coût des investissements pour disposer d'une puissance installée donnée.

Annexe II : Mégaprojets et dérives graves

Flyvbjerg observe que les coûts de mégaprojets de même nature ne se répartissent pas suivant une courbe de Gauss. La partie de la courbe comprenant les coûts les plus élevés compte nettement plus de mégaprojets. Les dérives sont donc plus nombreuses et plus importantes qu'en cas de répartition due au simple hasard. Il existe obligatoirement une raison à la déformation de la courbe de Gauss. Les dérives des mégaprojets sont dues aujourd'hui largement à l'ignorance de l'énorme importance d'un pilotage professionnel disposant d'une grande autorité et de capacités polyvalentes. En conséquence, les dérives de coûts et de temps de construction sont courantes. Elles se produisent dès le début du projet et leur apparition est le signe certain d'une maîtrise d'œuvre inefficace.

L'Allemagne réputée pour son sérieux, a connu l'aventure de la construction de l'aéroport Willy Brandt de Berlin. 9 ans de retard, coût de 7 milliards d'euros au lieu des 2 milliards annoncés. Même la très efficace Suisse, habituée pourtant à percer des montagnes, a payé deux fois plus cher que prévu le tunnel de Lötschberg. L'un des records des dérives est celle du Projet « California High-Speed Rail », ensemble de transports rapides devant lier Los Angeles, San Francisco et la Silicone Valley. Le coût est passé de 33 milliards de \$, devis accepté par référendum par les électeurs de Californie en 2008, à 135 milliards de \$ en 2025. L'Opéra de Sydney a été construit en quatorze ans alors que quatre étaient prévus, son coût s'est révélé plus de dix fois l'estimation initiale. Les dérives de coûts et de temps de construction de Flamanville C n'ont rien d'une exception. Ajoutons l'affaire des brise-glaces canadiens qui coûteront trois fois le coût annoncé, de tunnels près de Seattle et de Hong Kong. Les coûts d'organisation des Jeux Olympiques, des mégaprojets également, connaissent des dérives remarquables. Mais le record de ceux de Montréal semble très difficile à battre. Etc..etc.

³² US Department Of Energy-« A review of Light Water Reactor Costs and Costs Drivers »-Karen Dawson and Piyush Drivers. Sept.2017 Voir aussi SFEN et NEA-OCDE, note 31.