

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



Le Nouveau Programme Nucléaire Français Les voies du succès : la science des grands projets

I) La science des grands projets ou mégaprojets.

Le dernier Conseil de Politique Nucléaire avait demandé à EDF de « présenter avant la fin de l'année un chiffrage engageant en coûts et en délais » de la construction des six premiers réacteurs du Nouveau Programme Nucléaire. A cette occasion, l'économiste Jacques Percebois avait averti que les coûts finaux de tels « grands projets » se révélaient, « systématiquement ou presque » plus élevés que les coûts annoncés au départ.¹Les « grands projets » en question sont, entre autres, des infrastructures de transport (aéroports, tunnels...), d'importants ouvrages du domaine de l'énergie (comme des centrales électriques), des grands ensembles immobiliers etc. Ils sont appelés également « mégaprojets » et nécessitent pour être réalisés la concours de centaines ou milliers d'entreprises. Effectivement les dérives de coûts et les retards sont fréquents, et dans certains domaines semblent relever d'une certaine fatalité. Mais la situation change rapidement.

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

L'importance des mégaprojets et leur facture totale pour l'Humanité se chiffrant en milliers de milliards de \$/an font que, désormais, ils sont l'objet d'intenses études afin de maîtriser leur gestion.

-En 2019 Christophe Midler, dans la Jaune et la Rouge², publie un article au titre significatif : « Les mégaprojets, de la fatalité au renouveau ». Il annonce des méthodes efficaces et rapides pour bannir incertitudes et dérives. Afin de rationnaliser le débat il propose une définition des mégaprojets : qui sont « *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* ».

-En 2023, un professeur d'Oxford, Bent Flyvbjerg, après vingt ans d'efforts, constitue une base de données de 16 000 mégaprojets de 134 pays issus de plus de vingt activités différentes, dont l'énergie. Les annonces de Midler sont confirmées et précisées par des données, certes encore incomplètes dans certains domaines, mais néanmoins suffisantes pour valider quelques constats et conclusions de base³ :

1 -En effet la plupart des mégaprojets ont des coûts incertains, et certains présentent des dérives énormes voire catastrophiques à l'origine de leur réputation. En particulier peuvent apparaître dès le début des travaux des retards et surcoûts en série interminable. Un chemin de croix devenu classique. (Cf. Annexe 1).

2-Une petite minorité (8,5%) respecte coûts et délais annoncés, très inférieurs à ceux des autres.

3-Ces mégaprojets « réussis » se caractérisent par l'existence d'une Autorité Unique chargée de la maîtrise d'œuvre préparant minutieusement et longuement le design, créant les conditions d'un chantier rapide.

Les grands projets nucléaires sont des mégaprojets comme les autres (Cf. Annexe2)

Un Rapport du Ministère de l'Energie américain DOE confirme que le facteur principal du coût des réacteurs est le mode de gestion des projets⁴. Mais la surprise est qu'un certain nombre de grands projets nucléaires ont suivi les méthodes énoncées aujourd'hui ci-dessus et, effectivement, ont obtenus des coûts maîtrisés bien plus bas que les autres. L'exemple spectaculaire est le Programme Messmer, dont la réalisation est le résultat de trente ans de réflexion. D'abord celles de Pierre Massé, l'un des fondateurs d'EDF, qui rationnalisa la construction des centrales électriques dès 1946, permettant à une France ruinée d'échapper aux coupures dès 1950. Il est plus connu comme un grand Commissaire au Plan (1959-1966) et a laissé un ouvrage de base : « Le Plan ou l'Anti-Hasard ». En suite Marcel Boiteux optimisa les investissements. Puis Michel Hug comprit que le cœur du problème était l'optimisation du travail en commun des milliers d'entreprises concourant à un grand projet, *optimisation industrielle générale qui n'est pas la somme des optimums particuliers*. Les réacteurs français du Programme Messmer sont devenus brutalement deux à trois fois moins chers que les réacteurs américains que les Français étaient censés copier. C'est aux fruits que l'on juge l'arbre. Aujourd'hui, les Chinois construisent des réacteurs également deux à trois fois moins chers que les autres. Ils ont retrouvé les méthodes à moins qu'ils ne les aient conservées depuis l'époque de la grande collaboration franco-chinoise.

Une nouvelle discipline scientifique, celle de la gestion des grands projets ou mégaprojets est capable de réduire fortement les coûts, voire à les diviser par deux ou trois et à limiter fortement les incertitudes.. Nous allons montrer dans cette Lettre « Géopolitique de l'Electricité » qu'elle peut assurer le succès du Nouveau Programme Nucléaire français.

II) Des écarts de coûts importants et persistants avec les réacteurs chinois

Au tournant du siècle, les industries nucléaires occidentales ont connu quinze à vingt ans d'investissements très insuffisants. L'offre occidentale des réacteurs de troisième génération en a souffert et s'est restreint à deux modèles : l'AP1000 américain (Westinghouse) et l'EPR français (EDF). En 2020 un Rapport de l'OCDE⁵ constate qu'en Occident « La longue pause des constructions [des centrales nucléaires] a affaibli d'une manière considérable la chaîne d'approvisionnement du nucléaire et les compétences de l'industrie ...les

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

3. « How big things are done » Bent Flyvbjerg-Ed Currency-2023

4-U-S Department Of Energy-« A review of light water reactor costs and cost drivers ». Karen Dawson and Piyush Sabharwall-Sept.2017 -p.50

⁵ OECD-« Projected Costs of Generating Electricity 2020 »-December, 9, 2020

sommes investies dans les premiers réacteurs de troisième génération ne correspondent pas uniquement à la construction proprement dite des unités nucléaires mais aussi à la reconstitution des compétences perdues»⁶. Le Rapport était rassurant : « les pays occidentaux accumulent actuellement une considérable expérience » : et - « *La situation devrait s'améliorer rapidement, les coûts baisseront et perdront leur incertitude* ».

Ce n'est pas ce qui est observé aujourd'hui.

Le nucléaire chinois en vitesse de croisière (ascendante).

Le nucléaire chinois est entré dans une période de croisière. Sa part dans l'électricité reste faible (4,5%), mais en croissance. Il faut noter que ce pourcentage s'applique à une consommation chinoise d'électricité énorme : trois fois celle de l'Union Européenne. Le nucléaire chinois a trouvé sa place dans les provinces côtières, bien industrialisées.

Le modèle Hualong One

Parmi les réacteurs en construction, le modèle dominant, le Hualong One, a une puissance nette affichée d'environ 1000 MWe. Il est purement chinois, avec ascendance française. Sur 31 réacteurs de troisième génération en construction, 15 sont des Hualong One⁷. Mais sur les dix derniers réacteurs approuvés en avril 2025, se trouvent huit Hualong One⁸. Ce réacteur est également destiné à l'exportation. EDF avait envisagé d'en installer sur son site britannique de Bradwell. A cette occasion, l'autorité de sûreté britannique avait attesté que le Hualong One respectait les normes occidentales. C'est un rival de l'EPR.

Il existe des critiques, fondées, sur la validité des coûts chinois⁹. Mais dans le cas des réacteurs, les coûts sont fortement corrélés avec les durées de chantier qui sont bien connues. Cinq ans pour l'Hualong One. Coûts et durées de chantier étant cohérents, les estimations de coûts de l'Hualong One sont utilisables, à condition de se limiter aux ordres de grandeur, ce qui est bien suffisant pour en tirer les conclusions ci-dessous.

. En janvier 2021, Cao Shudong, vice général manager de l'entreprise chinoise CNNC avait estimé le coût du kWe installé du Hualong One à 17 000 CNY, et avait annoncé en même temps¹⁰ la mise en construction dès 2024, du Hualong Two, construit en quatre ans et au coût de 13 000 CNY/kWe. Ce qui, suivant le change de l'époque donnait 2600\$/kWe installé pour le Hualong One et 1990\$/kWe pour le Hualong Two

Le coût final du Hualong One mis en service n'a pas été publié. Cependant lors de l'appel d'offre du Kazakhstan pour une centrale nucléaire, un représentant de CNNC a annoncé en août 2024, que son entreprise pouvait construire en cinq ans un réacteur de 1000 MWe pour 2,8 milliards de \$.¹¹ La tristesse du russe Rosatom, qui ne pouvait s'aligner faisant peine à voir, CNNC n'a pas donné suite. Parallèlement on a observé que Rosatom céda des droits d'exploitation de gisements d'uranium au Kazakhstan aux Chinois. Coïncidence ?

Le 27 juillet 2025, le Jornal de Negocios, de Lisbonne fit état d'informations officieuses fournies par CNNC à une personnalité portugaise éminente de l'énergie et des sciences, Pedro Sampaio Nunes¹². L'entreprise chinoise mentionna une offre possible de deux réacteurs, très probablement des Hualong One, pour 10 Milliards d'euros.

Le Hualong One respecte les coûts annoncés. Ordre de grandeur : 2500 euros/kWe en Chine, et 5000 euros/kWe dans l'UE. Construit en cinq ans. Peu d'incertitudes.

Le Programme Hualong One est un mégaprojet réussi.

Le modèle EPR.

⁶ OECD-« Projected costs of Generating Electricity »-2020 Edition-pp.151-152

⁷ World Nuclear Association-« Nuclear Reactors in China »-Octobre 2025-33 réacteurs en construction dont 31 de troisième génération et deux surgénérateurs.

⁸Nuclear Engineering International-« China approves 10 new reactors »-April, 30, 2025

⁹ Cf. « Où va la Chine »-Les Echos-10 décembre 2025-Christian Saint Etienne.

¹⁰ « China to begin construction of Hualong Two in 2024 »- Nuclear Engineering International –April, 15, 2021.

¹¹ Kursiv Media, August ,28, 2024- « Chinese bidder reveals estimated cost of nuclear power plant in Kazakhstan

¹² Entre autres, 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)

Le coût de l'EPR de Flamanville, connecté au réseau en 2024, a été estimé par la Cour des Comptes¹³ à 23,7 milliards d'euros pour 1 650 MWe, soit environ 15 000 euros /kWe. Le chantier suivant celui d'Hinkley Point au Royaume Uni devrait être terminé en 2030. Il comprend deux réacteurs de 1650 MWe. Le coût à pu être estimé à 50 milliards d'euros¹⁴, soit également proche de 15 000 euros/kWe. Vient ensuite un autre projet d'EPR, à Sizewell, toujours au Royaume Uni. Il a été décidé en juillet 2025 par le Gouvernement britannique¹⁵. La construction pourrait durer une dizaine d'années. Coût estimé à 38 milliards de £ (environ 43 milliards d'euros). Soit 13 500 euros/kWe installé. Certes, on constate une baisse des coûts, mais les coûts chinois étant également à la baisse, l'écart reste probablement le même. Une étude de l'évolution des coûts des réacteurs AP1000 américains des premiers construits à Vogtle aux Etats-Unis à ceux estimés pour les projets actuels en Pologne conduirait aussi à constater des écarts similaires et persistants avec les coûts chinois.

Les écarts de coûts entre réacteurs Hualong One en Chine et EPR ou AP1000 en Occident sont considérables. Ils vont de 1 à 5 et se réduisent de 1 à 3 en cas d'exportation d'Hualong One en Europe. Ce sont des ordres de grandeur, mais ils suffisent pour conclure :

Les réacteurs occidentaux de troisième génération doivent réduire drastiquement leurs coûts sinon la Chine va devenir, comme dans d'autres domaines, l'usine du monde de l'énergie nucléaire. La raison de ces écarts n'est pas de nature technologique. La France, avec Framatome et Areva Solutions est, dans ce domaine, au top niveau. C'est la gestion des projets qui fait la différence. C'est donc l'apport de cette nouvelle discipline scientifique, la gestion des mégaprojets qui peut rapprocher coûts occidentaux et chinois.

III) Les caractéristiques des grands projets ou mégaprojets réussis³.

Les données utilisées découlent principalement de la base de données Flyvbjerg (16 000 mégaprojets)³

III.1 Un choix crucial : une maîtrise d'œuvre agissant comme un « Groupe uni et déterminé »

Un mégaprojet, nucléaire ou non, nécessite la contribution de nombreuses entreprises, des centaines ou des milliers. Il faut compter aussi avec l'intervention de multiples « organismes publics ou privés ». Qu'il faille pour gérer un mégaprojet une solide équipe de pilotage est une évidence. Sa première tâche 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, que Flyvbjerg appelle la « planification », qu'il définit de façon précise.
-la phase de construction proprement dite, en chantier ou/et usine.

Soit cette équipe de pilotage existe préalablement au mégaprojet, soit il faut la constituer. Elle sera sous l'autorité d'un maître d'œuvre qui amènera ses équipes ou les constituera. Elle se présente comme une Autorité Unique, polyvalente et encadrée par des professionnels de grands projets. Elle constitue un « Groupe uni et déterminé » que l'on observe toujours au sein d'un mégaprojet réussi.³

C'est en général au sujet de cette maîtrise d'œuvre que les problèmes apparaissent. L'Autorité Unique qui l'assure peut voir contester ses compétences. Prenons le cas du projet SCAF, futur avion de combat européen. dont la maîtrise d'œuvre, confiée au départ à Dassault, est discutée¹⁶. L'avenir du SCAF, de ce fait, est menacé. Le pilotage d'un mégaprojet ne se partage pas, sous peine de chaos. Le Programme Messmer et celui de la rénovation de la Cathédrale de Paris, deux mégaprojets réussis, furent dotés d'une Autorité Unique, sous la direction de Michel Hug pour le premier, du Général Gorgelin pour le second.

Par contre Flyvbjerg cite l'organisation déficiente du projet de la California High-Speed Rail, réseau de lignes à grande vitesse en construction en Californie dont le coût est passé de 33 milliards à 135 milliards de \$. De même suivant la Cour des Comptes : « [durant des années], jusqu'en 2015, [le projet de l'EPR de Flamanville]

¹³ Cour des Comptes-« La filière EPR : une dynamique nouvelle, des risques persistants »-Janvier 2025

¹⁴ Les Echos-« EDF : Hinkley Point, ce chantier sans fin à 50 milliards d'euros »-23 juillet 2025

¹⁵ Gov.UK-Press release-« Sizewell C gets green light with final investment decision »-July, 22, 2025

¹⁶ GEO-« Projet SCAF : « le futur avion de combat européen menacé... »-3/12/2025

n'a pas été piloté par une véritable équipe projet ». ¹⁷On trouvera d'autres exemples Annexe 1. Apparaît un processus bien connu : les mégaprojets défaillants présentent des retards et surcoûts dès le début des travaux qui s'accumulent dans une série interminable. Un chemin de croix qui se révèle classique et courant et non réservé aux projets nucléaires !

Le constat de la base de données de Flyvbjerg est précis. En observant tout mégaprojet réussi, on trouve toujours un Autorité Unique, une maîtrise d'œuvre sous forme d'un « Groupe uni et déterminé ».

III.2 « Penser lentement et agir vite ».

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. Flyvbjerg observe que les mégaprojets qui réussissent présentent une phase de préparation aux travaux particulièrement poussée et minutieuse. Une planification bien particulière.

-Elle comprend des méthodes permettant de promouvoir, en les sélectionnant, les innovations.

Le mégaprojet se bâtit par simulation numérique .La progression se fait par tâtonnements en modifiant par petites touches. « Après de nombreuses itérations la simulation se transforme en un objet rigoureux et détaillé, en un mot, un projet fiable ». L'ensemble de ce travail doit être accompagné d'une recherche de données provenant des mégaprojets similaires précédents. En cherchant on en trouve toujours.

-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 peu de corrections et évitant les aléas. Donc bon marché.

Flyvbjerg est particulièrement élogieux pour la maîtrise d'œuvre de Dassault Aviation et ses logiciels de conception assistée dont CATIA. Ce dernier a été adapté par le célèbre architecte Frank Gehry pour la construction du Musée Guggenheim de Bilbao. Un mégaprojet réussi.

Ce qui confirme que les mégaprojets, quel que soit leur domaine, relèvent d'un corps de méthodes de gestion similaire constituant une nouvelle discipline scientifique, la gestion des mégaprojets.

Le chantier : la phase vulnérable

Supposons que le design définitif 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. Il y a aussi ce que Flyvbjerg appelle les « cygnes noirs » qui vont planer sur le chantier et qui peuvent y fondre sans prévenir : une épidémie, la découverte de vestiges archéologiques (site nucléaire de Civaux), un changement de gouvernement, de nouvelles règles de sûreté. Bref, tout ce que la réalité peut inventer pour gêner des travaux. Un chantier nucléaire est ouvert à tous les vents et aux cygnes noirs. Il fonctionne fenêtres ouvertes. Flyvbjerg donne le conseil pour tout chantier: fermer les fenêtres au plus vite.

Un design menant à « un projet fiable » ouvre la voie à un temps de chantier court. Mais pour l'obtenir sur le terrain, il faut introduire certaines méthodes de construction : standardisation, construction par modules reproductibles ou construction en série, etc.

III.3 -Un vrai débat : planification vs créativité.

Pourquoi, les solutions précédentes, certes validées trop récemment par la base de données d'Oxford, ne sont pratiquées aujourd'hui que pour une petite 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 tant guidés par la rationalité que le dit la théorie économique »¹⁸. 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 vrai pour un mégaprojet. En ce cas les « jugements ... rapides et instantanés constituent le

¹⁷ Cour des Comptes-« La filière EPR »-Juillet 2020—p.8

¹⁸ « Daniel Kahneman, le psychologue qui a révolutionné l'économie »-par Christian Schmidt-Professeur émérite Paris-Dauphine- Le Monde 17/4/2024

système d'exploitation par défaut de la prise de décision humaine... [Ils mènent à] des jugements instantanés et 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 apparaît comme une étape sans grand intérêt mais qui retarde la réalisation du mégaprojet et sa mise en service espérée et réussie, célébrée par les médias. Ils démarrent donc les travaux **avant** que le design soit achevé.

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. 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 entre la créativité, qui en démocratie, doit être libre¹⁹.

Le débat entre longue et minutieuse planification et créativité est un vrai débat.

Dans le cas des mégaprojets, où la part d'inconnu est gigantesque, l'analyse des 16 000 cas de l'équipe d'Oxford montre, sans ambiguïté, que le début prématûr des chantiers conduit à la catastrophe. Elle prend la forme classique du chemin de croix avec retards et surcoûts accumulés menant à des factures de plusieurs fois le devis initial.

-La planification minutieuse est la solution...à condition qu'elle comporte un dispositif laissant sa place à l'innovation, donc à la créativité. Nous sommes bien loin d'une planification bureaucratique type Gosplan URSS !

Cette planification, qui prend son temps, doit permettre la promotion des innovations pour que tout mégaprojet puisse bénéficier de la technologie la plus avancée. Ces innovations seront sélectionnés par des expérimentations et/ou en ayant recours à des professionnels qualifiés.

III.4 Les alarmes

-L'observation montre qu'un grand projet ou mégaprojet, lorsqu'il dérive, dérive 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.

-Une succession de têtes de série sans série est le signe que l'indispensable promotion et sélection des innovations n'est pas en place. La construction par paliers successifs n'est pas possible. Pilotage à revoir.

Une préparation minutieuse et complète d'un mégaprojet autorisera 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. Son diagnostic est l'apparition, dès le départ de retards et surcoûts qui s'accumulent ensuite.

IV)- Un mégaprojet nucléaire réussi : le Programme Messmer

La réalisation du Programme Messmer a des racines qui remontent à la création d'EDF en 1946. EDF, dès ses débuts, eut comme objectif essentiel de fournir l'électricité nécessaire à la reconstruction du pays, ruiné par la guerre. C'était un grand projet ayant déjà les caractères d'un mégaprojet dans sa définition actuelle. Il fallut construire vite, bien, en utilisant au mieux chaque franc investi. Cette œuvre collective fut une réussite.

Michel Hug, issu de cette époque 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 »²⁰, indispensable pour comprendre comment a été réalisé le Programme Messmer. Il sera largement utilisé ici.

IV.1 : la genèse

¹⁹ 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...

²⁰ Grandes aventures technologiques françaises-« Un Siècle d'Energie Nucléaire »-Michel Hug-Académie de Technologie-2009.

Les observations de Flyvbjerg préconisent un premier choix crucial : la maîtrise d'œuvre. Pierre Massé, l'un des fondateurs d'EDF décida qu'EDF serait maître d'œuvre *et* d'ouvrage de ses nouvelles centrales. Il créera pour cela la Direction de l'Équipement EDF dont il fut le premier Directeur. La première tâche de cette maîtrise d'œuvre, toujours suivant Flyvbjerg, doit être de fixer un objectif crédible et précis. 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) et donc comme l'un des artisans des Trente Glorieuses. Son ouvrage important est « Le Plan ou l'Anti Hasard ». C'est dire que lors de la construction du parc de centrales EDF la phase de planification fut capitale. Elle prit le temps nécessaire qui fut largement rattrapé par un temps de construction raccourci. L'objectif de doublement tous les dix ans fut atteint. En 1974, au lancement du Programme Messmer, il était toujours en vigueur.

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, 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 flamme] 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 »²⁰. *L'innovation est prévue et organisée*

Phase de préparation minutieuse et complète. Chantiers les plus rapides possibles. Standardisation et constructions en série, avec maîtrise des innovations, le mégaprojet de construction du parc électrique d'après guerre correspond aux caractéristiques des mégaprojets réussis décrits par Flyvbjerg 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 ».²¹

Marcel Boiteux refusa de financer la mise au point d'un modèle de réacteur. Pourquoi ne pas faire comme pour le thermique à flamme, 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 Framatome, détenteur d'une licence de l'entreprise américaine Westinghouse. Les réacteurs Westinghouse fonctionnaient correctement Outre Atlantique. Ensuite, par des constructions en série et « par des perfectionnements successifs » via de « nombreux sous-paliers », comme l'avait montré Jean de Chessé pour le thermique à flamme, on pourra franciser. L'avenir montra que par son intelligence et sa lucidité, 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 ».²² Il oublie l'exploit d'être parvenu à utiliser la licence de Westinghouse de Framatome. Il fit un second choix décisif. Il écarta Framatome de la conduite du Programme Messmer, qui pouvait sembler devoir lui revenir. *En désignant EDF-Equipement, 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'Équipement EDF Michel Hug, *qui venait de diriger un mégaprojet, le barrage de Sainte Croix du Verdon, non seulement producteur d'électricité mais aussi garantie de l'alimentation en eau de la région de Marseille*. Boiteux le savait « dirigiste »²² Effectivement Hug mit en place une Autorité Unique.

²¹ Le Monde -11 septembre 2023-Tribune Jean Tirole, Stefan Ambec, Claude Crampes-

²² Marcel Boiteux (Directeur Général d'EDF) dans « Haute tension »-Ed. Odile Jacob.

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 mêlèrent harmonieusement aux experts des grands chantiers (les hydrauliciens) et aux inventeurs des constructions par paliers (les thermiciens).

La Direction de l'Equipement EDF (5000 personnes) était devenue un « Groupe Uni et Déterminé » cher à Flyvbjerg, comme on en trouve toujours dans l'organisation des mégaprojets qui ont réussi.

L'apport de Michel Hug : l'optimum industriel²⁰

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 étaient déjà connues et nous n'y reviendrons pas. Cependant, il est à l'origine d'un apport personnel majeur, passé plutôt inaperçu. Un programme nucléaire, comme le Programme Messmer, est réalisé par un ensemble industriel imposant, fait de milliers d'entreprises. Hug estime que l'on peut y distinguer jusqu'à huit niveaux de sous-traitance.²⁰

Dès lors se pose une question : comment faire pour que cet ensemble fonctionne de façon optimum ? Ce qui permettra la construction des réacteurs au coût le plus bas, tout en favorisant l'innovation pour rester à la pointe de la technique. Une première réponse 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 arriva à la conclusion :

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

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 strictement 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 caricaturée en refus systématique. Une contre-vérité qui a fait beaucoup de dégâts. Les ingénieurs sont par nature fort ingénieux 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 »²⁰. 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 les « paliers » et « sous-paliers » des centrales thermiques, les tranches nucléaires en construction ne furent plus considérées « comme des copies » mais comme des lieux d'essai d'innovations, les innovations retenues étant reportées au palier suivant, et ceci « *que puisse être les coûts et les retards impliqués* »²⁰.

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 mises en service en treize mois. Ceci ne s'est encore jamais produit ailleurs dans le monde* »²⁰. En 2026, ce record reste inégalé, même en Chine.

Traitée de cette façon, il ne semble pas que la question de l'optimum global d'un ensemble industriel concourant à la réalisation d'un mégaprojet n'ait jamais été posée.

IV.2Programme Messmer : une réussite exceptionnelle

-Des temps de chantier « étonnamment courts » et des coûts très bas²³.

La comparaison entre coûts français et américains lors du Programme Messmer a été faite par Arnulf Grubler²⁴. Les coûts français indiqués sont cohérents avec ceux donnés par la Cour des Comptes²⁴. Les durées de chantier français sont « étonnamment courtes » et *leurs coûts deux à trois fois plus bas qu'Outre Atlantique* Or ils étaient fort proches avant. et la technologie était similaire. Il s'agit du résultat de l'application de la stratégie industrielle du maître d'œuvre, Michel Hug.

La démonstration de l'importance fondamentale du mode de gestion des projets nucléaires est éclatante et parfaitement en accord avec les observations de Midler² et de Flyvbjerg³ Le coût d'un chantier nucléaire dépend d'abord de la gestion du projet correspondant. Il peut varier de 1 à 3 suivant cette gestion

-La reconstruction d'une industrie nucléaire nationale

En 1981, avec un an d'avance, Framatome mit fin à son accord de licence avec Westinghouse qui souhaita qu'il soit remplacé par un accord de coopération. Accord que cette entreprise accepta de payer 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 scellé 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 ». ²⁵ 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 créativité d'entreprises françaises, avant tout Framatome, avait abouti à la re-création d'une industrie nucléaire nationale. Quel résultat pour un Programme présenté comme acceptant une dépendance étrangère !

Michel Hug écrit²⁰ : « les réacteurs de standard N4, [dont la décision de construction les 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 informatisée 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 fut la première au monde. Le coût des réacteurs étaient deux à trois fois plus bas qu'aux Etats-Unis

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

En 2000, le Programme Messmer est pratiquement terminé. Les besoins français en électricité sont satisfaits. EDF est devenu le premier exportateur mondial de courant. La Direction de l'Equipement EDF, maître d'œuvre et d'ouvrage des projets de centrales EDF est dissoute, faute de charge de travail suffisante.

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] »¹⁷. Le « Groupe uni et déterminé » qui organisait les projets de centrales d'EDF n'existe plus. L'EPR de Flamanville connaît donc le chemin de croix classique, une longue série de retards et surcoûts. La gazette mondiale des constructeurs de réacteurs, Nuclear Engineering International, dans un éditorial, annonça que les Français avaient perdu la main²⁶. 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 compris. Seul François Roussely, ancien Président d'EDF, dans le Rapport qui lui fut demandé sur cet échec, mentionnera comme cause la perte de crédibilité de l'industrie nucléaire française.

²³ Arnulf Grubler- « The costs of the French nuclear scale up... » -Energy Policy-38 (2010) pp.5174-5188

²⁴ Cour des Comptes-Les coûts de la filière électronucléaire-31 janvier 2012

²⁵ Le Monde-24 janvier 1981-«Framatome met fin à l'accord de licence avec Westinghouse»

²⁶ Nuclear Engineering International-6/10/2011-Caroline Peachey-« Construction vs. Communication »

Conclusion : réussir le Nouveau Programme Nucléaire

Ce qu'apporte la nouvelle science des grands projets ou mégaprojets

Le Nouveau Programme Nucléaire français répond à la définition d'un grand projet ou mégaprojet. Il a sa spécificité : la coexistence avec un grand parc nucléaire existant en cours de prolongation. Il n'est pas question de proposer ici la gestion d'un mégaprojet particulier. Mais il est fort utile de connaître les faits observés sur le terrain par la science des grands projets afin de mieux utiliser cette nouvelle discipline :

1-Un mégaprojet réussi respecte coûts et délais annoncés. Ceux-ci sont considérablement plus faibles qu'ailleurs. La gestion du projet est la clef de la réussite, bien au-delà de la technologie. Donc inutile de proposer de remplacer l'EPR par un autre modèle.

2-Par sa complexité, un mégaprojet impose une équipe de pilotage puissante. L'organisation d'un mégaprojet réussi recèle toujours une Autorité Unique, chargé de ce pilotage. Elle fonctionne sous la direction d'un maître d'œuvre qui a l'expérience des mégaprojets, entouré d'une équipe polyvalente dont les compétences correspondent à celle de l'industrie sollicitée. Cette unité de pilotage a la forme d'un « Groupe Uni et Déterminé ». Elle assure la maîtrise d'œuvre, vérifie que le projet est cohérent avec les objectifs fixés et que le milieu industriel disponible a les capacités correspondantes. Cela n'a pas été vérifié lors des premiers réacteurs AP1000 de Westinghouse érigés aux Etats-Unis. Le choix de la construction par modules n'a pas convenu à l'industrie américaine et a conduit à la série classique et interminable des retards et surcoûts.

3-On observe lors des mégaprojets réussis deux phases. Une première où sont réunies toutes les données disponibles, y compris celles provenant de mégaprojets similaires. Par simulation numérique et itération, cette phase aboutit à « un objet rigoureux et détaillé, en un mot, un projet fiable ». Elle est menée minutieusement afin de débusquer le plus possible de problèmes potentiels, car le temps perdu et le surcoût correspondant seraient bien plus importants s'il fallait les résoudre pendant les travaux. Cette phase que Flyvbjerg appelle « planning » est marquée par l'existence d'un dispositif promouvant les innovations en les sélectionnant par l'expérimentation et/ou l'expérience.

La seconde phase, des travaux, en chantier et/ou en usine, est dangereuse et doit être la plus courte possible. Car la réalité y place volontiers les aléas qu'elle peut inventer pour perturber les travaux et augmenter les coûts. Toutes dispositions possibles pour la raccourcir, standardisation, construction par modules ou en série etc. sont les bienvenues. Vérifier si l'industrie disponible sait les mettre en œuvre.

4-Deux alarmes indiquent que le pilotage doit être revu : l'apparition de dérives dès le début des travaux et l'existence de plusieurs têtes de série successives sans série. Dans le second cas, la promotion obligatoire et la sélection des innovations n'est pas assurée.

Faisons une place à part à l'optimum industriel introduit par Michel Hug lors du Programme Messmer, un mégaprojet réussi. Il s'agit de la recherche de l'efficacité maximum de l'ensemble des milliers d'entreprises concourant à un grand projet. Deux règles se dégagent : *l'optimum global n'est jamais la somme d'optimums locaux, l'information entre toutes les parties prenantes doit circuler librement*. Attention aux interfaces !

Les écarts de coûts et de délais actuels entre les projets nucléaires chinois et occidentaux sont dus essentiellement à la gestion des mégaprojets que sont les projets nucléaires. L'utilisation d'une nouvelle discipline scientifique, la gestion des grands projets est la voie du succès car elle permet des réductions spectaculaires de coûts, comme l'avait annoncé Christophe Midler en 2019 et l'a confirmé de façon éclatante Flyvbjerg en 2023... et le Programme Messmer il y a quarante ans

Sinon, pour l'énergie nucléaire, comme pour d'autres activités, la Chine deviendra l'usine du monde.

Annexe I : 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 comptent 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 efficacité, 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 sérieuse 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 Silicon 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. C'est cette facture, qu'aux dernières nouvelles²⁷, les contribuables californiens vont devoir honorer. L'Opéra de Sydney a été construit en quatorze ans alors que quatre étaient prévues, 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 coûtèrent trois fois le coût annoncé, des tunnels près de Seattle et à Hong Kong etc...etc...La routine...

Annexe 2-Les centrales nucléaires sont des mégaprojets comme les autres.

La base de données de Flyvbjerg, 16 000 mégaprojets, est remarquable, mais elle peut être insuffisante pour certains domaines, ce qui est le cas pour le nucléaire. C'est ainsi qu'elle ne comprend pas de mégaprojets nucléaires ayant respecté coûts et délais annoncés. En conséquence Flyvbjerg estime que l'énergie nucléaire est trop complexe pour que ses coûts soient maîtrisables. Elle n'a pas d'avenir, sauf « transformations profondes ». L'argument qui se veut définitif, est que même en Chine, le pays où elle aurait le plus de chances de se développer, elle reste marginale.

Flyvbjerg n'a pas suivi les dernières décisions du gouvernement de Pékin, qui pour la quatrième année de suite a décidé la construction d'au moins dix réacteurs. Certes, la part du nucléaire dans le mix électrique chinois reste faible, 4,5%, mais elle est en croissance et se réfère à une consommation totale trois fois supérieure à celle de l'Union Européenne. Un certain nombre de réacteurs chinois mis en service respectent coûts et délais annoncés, dont le programme des réacteurs Hualong One.

Ajoutons un certain nombre de réacteurs du Programme Messmer construits eux aussi en respectant coûts et délais annoncés, et toujours en service. On constate que dans l'ensemble des grands réacteurs commerciaux actuellement en fonctionnement (417 suivant la base de données PRIS de l'Agence Internationale de l'Energie Atomique, consultée le 19 décembre 2025), la part des centrales nucléaires dont la construction a respecté coûts et délais annoncés, n'est pas inférieure à celle de l'ensemble des mégaprojets de toute nature (8,5%).

Les centrales nucléaires sont des mégaprojets comme les autres. Les méthodes d'optimisation et de maîtrise des coûts apportées par la science des mégaprojets s'appliquent au nucléaire.

²⁷ US Department of Transportation- "Trump's Transportation Secretary Sean P. Duffy Pulls the Plug on \$4B for California High Speed Rail's Train to Nowhere", July 16, 2025