



HAL
open science

Dynamiques d'innovation technique et d'intégration socio-économique. Le cas de l'éolienne en Allemagne, au Danemark et en France

Philippe Bruyère

► **To cite this version:**

Philippe Bruyère. Dynamiques d'innovation technique et d'intégration socio-économique. Le cas de l'éolienne en Allemagne, au Danemark et en France. e-Phaïstos, 2018, V, 10.4000/ephaistos.3011 . hal-03327143

HAL Id: hal-03327143

<https://hal.science/hal-03327143>

Submitted on 26 Aug 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Dynamiques d'innovation technique et d'intégration socio-économique. Le cas de l'éolienne en Allemagne, au Danemark et en France

Dynamics of technical innovation and socio-economic integration : The case of the wind turbine in Germany, Denmark and France.

Philippe Bruyère



Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/ephaistos/3011>

DOI : [10.4000/ephaistos.3011](https://doi.org/10.4000/ephaistos.3011)

ISSN : 2552-0741

Éditeur

IHMC - Institut d'histoire moderne et contemporaine (UMR 8066)

Référence électronique

Philippe Bruyère, « Dynamiques d'innovation technique et d'intégration socio-économique. Le cas de l'éolienne en Allemagne, au Danemark et en France », *e-Phaïstos* [En ligne], VI-1 2017 | 2018, mis en ligne le 27 juin 2018, consulté le 02 juillet 2018. URL : <http://journals.openedition.org/ephaistos/3011> ; DOI : [10.4000/ephaistos.3011](https://doi.org/10.4000/ephaistos.3011)

Ce document a été généré automatiquement le 2 juillet 2018.

Tous droits réservés

Dynamiques d'innovation technique et d'intégration socio-économique. Le cas de l'éolienne en Allemagne, au Danemark et en France

*Dynamics of technical innovation and socio-economic integration : The case of
the wind turbine in Germany, Denmark and France.*

Philippe Bruyère

Référence bibliographique

Philippe BRUYÈRE, Dynamiques d'innovation technique et d'intégration socio-économique. Le cas de l'éolienne en Allemagne, au Danemark et en France, Thèse de doctorat de l'EHESS en sciences sociales d'histoire des techniques, soutenue le 30 novembre 2017 - Un volume (698 p.) et un volume d'annexes (210 p.)

Directeur de thèse

Liliane HILAIRE-PEREZ, Directrice d'études EHESS/CAK, professeur d'histoire moderne à l'Université Paris-Diderot

Jury

Christophe GOUPIL, professeur de physique, Université Paris-Diderot

Xavier GUCHET, professeur de philosophie et d'éthique des techniques, Université de Technologie de Compiègne

Alain P. MICHEL, maître de conférences en histoire contemporaine à l'Université d'Evry-Val d'Essonne

Arnaud PASSALACQUA, maître de conférences associé en histoire contemporaine à l'Université Paris-Diderot

- 1 Ce travail constitue l'aboutissement d'un parcours à la fois professionnel et universitaire, ingénieur des Arts et Métiers créateur de deux sociétés dans le domaine de l'énergie

éolienne et titulaire d'un master en philosophie des sciences et techniques centré sur les relations entre innovation technique et représentation sociale autour d'une étude de cas, le système Marconi de 1895.

- 2 L'ambition de cette thèse est de reprendre l'approche de l'objet technique du master et de l'appliquer à l'histoire de l'objet technique. S'appuyant sur les travaux sur la nature duale de l'objet technique menés à l'Université de Delft (Peter Kroes), cette approche conçoit l'objet technique sous un double aspect, articulant matérialité (monde physique) et fonction (action humaine). Cette conception est ensuite précisée en distinguant pour l'aspect matériel, structure et opérativité (*behavior*), notions introduites en intelligence artificielle et en ingénierie de la conception, que l'on retrouve aussi chez François Sigaut (« Un couteau ne sert pas à couper mais en coupant ») ou chez René Boirel (dynamologies structurelle, opératoire...). Sur ces bases d'analyse d'un objet technique, ma problématique est d'examiner si une telle conception duale de l'objet technique peut apporter une contribution à l'histoire des techniques. Il s'agit d'envisager l'histoire de l'objet technique, comme résultant des interactions entre dynamique technique et dynamique socio-économiques, à partir d'une étude de cas, l'éolienne.
- 3 Deux constats préliminaires ont guidé cette recherche. Le premier constat est d'ordre structurel et opératif : toutes les éoliennes ayant fait l'objet d'une diffusion significative en Europe, du moulin à vent aux éoliennes contemporaines, utilisent le même principe de base, la portance aérodynamique (une opérativité), et une même architecture, un axe de rotation parallèle à la direction du vent. Ce premier constat nous donne un fil rouge pour suivre l'objet technique dans le temps et en raconter l'histoire.
- 4 Le second constat est d'ordre socio-économique : toutes les éoliennes sont des machines de production de quelque chose, elles produisent un bien dans un secteur d'activité gouverné par des institutions, elle-même plongées dans une société et une culture situées. Ce second constat nous oblige à situer notre histoire à une époque donnée, dans un contexte précis permettant de « comprendre ce que les gens font dans leur vérité » (Jablonka), à leur époque, dans leur contexte d'action, ce que nous avons appelé « scène technique ».
- 5 Tous ces gens doivent jouer avec le vent naturel avec les actions et réactions, statiques, quasi-statiques et dynamiques de structures soumises à ce vent : ce sont les dynamiques techniques. Ils doivent aussi jouer avec les besoins des utilisateurs, les demandes des fournisseurs, les règlements et normes des institutions, les désirs des ménages ou des collectivités, les valeurs de la société : ce sont les dynamiques socio-économiques. Cette vue de l'objet technique permet de plus d'analyser le changement technique comme la rupture de l'équilibre entre ces deux dynamiques.
- 6 Il ne s'agit plus lors de raconter une histoire de l'objet technique traversant les siècles, mais de comprendre un type d'éolienne dans une scène technique donnée. Le choix de ces scènes techniques s'est focalisé sur les quatre grands types de machines évoquées dans la plupart des histoires techniques : moulin à vent (du XII^e au début XX^e siècle), moulin électrique (début XX^e siècle), aérogénérateurs (milieu du XX^e siècle) et éoliennes modernes (fin du XX^e siècle). De plus ces scènes techniques sont réparties sur trois pays (France, Danemark et Allemagne) en fonction de leur intérêt historique, mais aussi de la disponibilité de sources archivistiques et bibliographiques.
- 7 La première scène s'est mise en place autour du mémoire que Charles-Augustin Coulomb présente à l'Académie des Sciences fin 1781. Il y présente ses observations sur des

moulins à vent à huile (tordoirs à vent) à Lille. Un choix affectif, mais un choix qui met en avant les moulins dits industriels, produisant autre chose que de la farine et surtout textile qui constitue la première et la seule énergétique éolienne. Les archives utilisées sont celles de l'Hospice Comtesse (de 1372 avec la première mention d'un *molin à ole*, à 1789) et leur analyse par le molinologue nordiste Jean Bruggeman.

- 8 La seconde scène s'impose d'elle-même avec les moulins électriques que développe Poul La Cour à partir de 1896, les centrales électriques rurales. Premier expérimentateur de moulins en soufflerie, Poul La Cour, physicien inventeur, pédagogue et développeur local, les diffuse au travers de la société d'ingénierie DVES. La source est l'ouvrage *Vind- elektricitets værker* (centrales électriques éoliennes) et les articles de la revue technique danoise *Ingeniøren*, créée en 1892, les archives de Poul La Cour ayant déjà fait l'objet de différents travaux.
- 9 La troisième scène, celle des aérogénérateurs comme on les appelle, fait revivre les expérimentations que mène la Direction des Etudes et Recherches d'EDF à partir 1946 pour développer l'énergie éolienne. La plupart des archives EDF ont disparu, mais des anciens ingénieurs gardent des traces comme Georges Vallée (EDF), Edouard Gion (Neyrpic) et Martin Peter (Laboratoire Eiffel). D'autres archives du début des années 1980 sont utilisables comme celles de l'AFME (ADAM), des Phares et Balises (AN) ou d'Ifremer (ex-CNEXO).
- 10 La quatrième et dernière scène présente le développement des éoliennes de grande puissance en Allemagne du Nord avec la société d'ingénierie *Aerodyn* et le fabricant *REpower*. Les sources sont personnelles (Espace Eolien Développement) et proviennent aussi d'acteurs de l'époque : Georg Böhmeke, Christian Nath, Eric Groove-Nielsen, Matthias Schubert.
- 11 Chacune de ces micro-histoires est racontée suivant le même plan avec à parts égales une histoire des dynamiques techniques et une histoire des dynamiques socio-économiques complétées par une analyse du changement technique. Pour les dynamiques techniques, le plan est structuré en trois parties : connaissance du vent, aérodynamique et dynamique des structures ; pour les dynamiques socio-économiques, le parti pris est de commencer par l'économie, puis les professionnels du secteur et leurs institutions acteurs. Cette structuration forte a été un guide précieux compte tenu de l'importance de la bibliographie et des thématiques abordées.
- 12 Au cours de cette recherche, des analyses quantitatives ont été réalisées en construisant différents outils : base de données de 232 tordoirs à vent construits à Lille, simulation de l'énergie disponible d'un moulin électrique selon son mode de raccordement, dépouillement et analyse des éoliennes Neyrpic (archives Vallée), modélisation numérique de toutes les éoliennes étudiées permettant le calcul de leurs courbes de puissance, base de données d'une centaine de courbes de puissance d'éoliennes.
- 13 Quels sont les résultats de cette recherche ?
- 14 Concernant les moulins à vent, le résultat peut-être le plus surprenant est de fournir une courbe de puissance réelle du tordoir à vent et de là estimer celles des autres moulins (moulins à ailes symétriques à inclinaison constante ou variable). Ce résultat est important dans la mesure où il permet de préciser ce que produit un moulin à vent, une donnée de base pour comprendre ce que les gens font avec ce moulin. Du point de vue des mécanismes internes, l'analyse des théâtres de machines et des livres de moulins permet de situer l'intégration de la presse à coins dans la cabine du moulin vers le XVI^e siècle.

Une analyse iconographique a été nécessaire, sur les traces d'Yves Coutant, pour situer une autre innovation majeure, l'aile asymétrique. Du point de vue du changement technique, et de la disparition de ces tordoirs, les facteurs sont multiples (imposition impériale de la betterave, concurrence des huiles coloniales, arrivée lente des huileries à vapeur, concurrence spatiale avec l'agrandissement de Lille). Bien que des innovations soient disponibles à l'époque (orientation automatique, régulation par persienne), les olieux (conducteurs de moulin à vent à huile) individualistes, peu organisés, engagés dans une activité complexe exigeant un long apprentissage ne les recherchent pas. Le couple tordoir-olieu est indissociable, non analysable par la physique ou la technologie de l'époque et rétif à toute innovation. De plus, la nouvelle modernité détourne les innovateurs mécaniciens (comme Hallette d'Arras) d'une machine devenue « barbare ».

- 15 Le rêve initial de Poul La Cour (du vent et de l'eau, produisant de l'hydrogène utilisable directement pour l'éclairage) se heurte en 1896 à des difficultés insurmontables. Le passage du moulin « mécanique » au moulin « électrique » au début du XX^e siècle doit affronter quant à lui dès son origine la grande difficulté du stockage de l'électricité. Les simulations réalisées dans cette recherche, confirmées par les sources, montrent en effet que la production utilisable varie de un à trois suivant le type de raccordement. Ce qui constitue, à notre sens, l'apport le plus important de Poul La Cour est la société d'ingénierie éolienne DVES, société rassemblant techniciens, élus, personnes qualifiées pour diffuser ce moulin électrique dans le Danemark rural du début du XX^e siècle. La résistance de ces systèmes décentralisés, multi-énergies (hydraulique, gaz, pétrole...) et locaux, qui resteront opérationnels jusque dans les années 1950, co-existants avec le système électrique en voie de centralisation, montre aussi que l'histoire des réseaux électriques n'est pas une longue marche continue vers les grands systèmes centralisés contemporains, mais que d'autres voies sont possibles et sont d'ailleurs explorées aujourd'hui (autoconsommation).
- 16 L'éolienne connaît un regain d'intérêt à partir des années 1930 avec le développement de l'aviation et de l'électrotechnique : ces machines peuvent-elles pour faire face à la demande croissante d'électricité et au risque de disette énergétique ? En France, Pierre Ailleret (ingénieur X-Ponts-Supélec) travaille sur les éoliennes dès 1941 dans le cadre du Comité d'Organisation de l'Energie Electrique avec la création de la SETAM (Société d'Etudes Techniques des Aéromoteurs), que l'on retrouve dans les archives EDF. Devenu directeur des études et recherches d'EDF à la création d'Electricité de France en 1947, il crée une Division du vent qui passera 16 années à mesurer le potentiel éolien dans le monde entier et à expérimenter des éoliennes. La Division du Vent travaille sur une production électrique pour moitié d'origine hydraulique et pour moitié d'origine éolienne. Une vision d'ingénieur - assurer la production d'électricité avec l'hydraulique et l'éolien à parts égales - mène à la mise en place de deux éoliennes de test, l'éolienne BEST-Romani et l'éolienne Neyrpic au milieu des années 1950. La première machine de grande qualité aéronautique est victime du mauvais choix de génératrice (synchrone) imposé par EDF ; la seconde machine (en fait, deux machines) construite par un industriel réputé de l'hydraulique privilégie des solutions robustes. Ces deux styles de conception traversent la technique des éoliennes out au long du XX^e siècle. L'analyse quantitative de cette seconde machine montre que les résultats étaient très positifs malgré différents problèmes mécaniques. L'arrêt brutal de ces essais en 1963 se fait sans heurt, les travaux ayant été réalisés dans le plus grand secret : une technique prometteuse mais orpheline, sans soutien social ou politique.

- 17 La crise de l'énergie des années 1970 relancent une seconde fois l'énergie éolienne avec des recherches confiées à l'industrie aéronautique (aux USA, en Suède, en Allemagne et en France) et des essais réalisés par des groupes promouvant une technologie dite appropriée. Si les grandes machines aéronautiques sont le plus souvent des échecs, le renouveau vient du Danemark à la fin des années 1970, relayé par des industriels en recherche de diversification (Vestas, Nordex ou HSW), les éoliennes semblent atteindre leur optimum en terme de taille et de puissance au milieu des années 1990. Sous l'impulsion de la Commission Européenne et des planificateurs territoriaux, des éoliennes de grande taille sont développées en partenariat avec des sociétés d'ingénierie de petite taille qui bénéficient du retour d'expérience des grandes éoliennes « aéronautiques » (Growian, WKA-60). L'intégration de techniques électroniques de vitesse variable, le développement de programmes de calcul du potentiel éolien permettent de développer à la fin des années 1990 une nouvelle industrie qui se développe grâce à la mise en place de programmes de soutien public et le montage de projets par des financiers. Développée de petits groupes de personnes « infectées par le virus de l'éolien », l'éolienne devient en quinze ans une industrie à part entière à la poursuite de machines de plus en plus gigantesques. Loin d'être inféodée aux réseaux électriques, cette nouvelle industrie déstabilise le modèle économique de ces réseaux entraînant une recomposition du secteur, toujours en cours.
- 18 Sur la base de ces quatre scènes, il est apparu nécessaire de donner un tableau d'ensemble du développement de l'éolienne sur plus de huit cents ans, une entreprise risquée. A partir des analyses quantitatives mentionnées plus haut, deux facteurs quantitatifs d'analyse long terme, calculables à partir de seules données physiques, ont été élaborés : l'indice de qualité et le facteur de régularité.
- 19 L'analyse de la progression des éoliennes sur le long terme, s'appuie sur l'indice de qualité défini par Ulrich Hütter en 1979. Il s'agit d'un indice de performance technico-économique obtenu en multipliant le coefficient de performance des rotors d'éoliennes (la puissance instantanée) par le rapport des vitesses auquel il est obtenu (pour une même vitesse de vent, l'éolienne qui tourne le plus vite est plus économique car le couple donc la masse est plus faible). Cet indice est indépendant du site choisi et du type d'usage.
- 20 De plus, un facteur de régularité a été construit. Ce facteur est défini en multipliant le facteur de capacité (rapport entre l'énergie électrique effectivement produite sur une période donnée et l'énergie qu'elle aurait produite si elle avait fonctionné à sa puissance nominale durant la même période) par le pourcentage du temps pendant lequel une énergie (même faible) est disponible. Ce facteur dépend à la fois du site d'installation et de l'usage : dans l'exemple vu plus haut, un moulin électrique ne produit pas la même énergie utile selon qu'il raccorde à un site isolé ou à un réseau électrique centralisé.
- 21 L'indice de qualité progresse de 1180 à 2000 avec un long palier de faible croissance de 1180 à 1920 environ : il passe de 0,25 environ à 2 en prenant comme valeur unité l'indice de qualité du tordoir à vent de 1781. Il augmente fortement de 1920 à 2000, atteignant environ 16 et a tendance à rester constant. L'utilisation de profils aérodynamiques épais et la spécialisation pour la production d'électricité expliquent cette forte croissance. Quant au facteur de régularité, sa progression est presque inverse : très élevée pour le moulin à vent (environ 25), elle diminue avec les éoliennes modernes (de 6 à 8). Les éoliennes de pompage (régularité de 35) et les chargeurs éoliens (régularité de 20) ont un facteur proche de celui du moulin à vent. Le cas du moulin électrique est intéressant : le

facteur de régularité est de 3 pour un usage individuel, de 6 pour un usage sur un petit réseau décentralisé et passe à 8 pour un usage sur un réseau centralisé.

- 22 On constate donc sur le long terme une progression de la performance intrinsèque des rotors éoliens, mais la régularité, liée à l'usage de l'énergie et à sa disponibilité à tout moment, diminue fortement.
- 23 En conclusion, la démarche adoptée dans cette thèse nous semble utilisable pour l'histoire d'autres objets techniques. En donnant une place égale aux aspects techniques et aux aspects socio-économiques, elle permet de proposer une histoire technique et sociale de l'objet technique. Plus largement, elle vise à engager un dialogue souvent difficile entre ingénieurs et chercheurs en sciences sociales, une « mise en culture » dans une approche globale et dynamique de l'histoire de l'objet technique. L'utilisation de méthodes quantitatives et la construction d'indicateurs long terme permet de mieux comprendre l'histoire d'une technique particulière. Science éminemment sociale, l'histoire des techniques a tout à gagner dans l'utilisation de méthodes physiques. Cette thèse contribue à une réflexion sur ce que sont les objets techniques qui nous entourent par une mise en histoire surplombant des histoires techniques souvent linéaires ou a contrario des histoires sociales et politiques trop englobantes.

RÉSUMÉS

L'étude de cas de l'« éolienne » est abordée au travers de quatre scènes techniques : moulins à huile à Lille à la fin du XVIIIe siècle, moulins électriques au Danemark au tournant du XXe siècle, aérogénérateurs en France dans les années 1950, éoliennes modernes à la fin du XXe siècle en Allemagne du Nord. Chacune de ces scènes techniques fait l'objet d'une analyse technique articulée autour de la connaissance du vent, de l'aérodynamique et de la mécanique des structures et d'une analyse socio-économique centrée sur le secteur d'activité dans lequel elles sont intégrées, pour comprendre ce que les gens font avec cet objet technique. Cette recherche montre que toutes les éoliennes ayant connu une large diffusion sont fondées sur une même architecture globale et sur un même principe physique permettant de définir des indicateurs de performance et de régularité sur une longue période. Envisagée comme machine de production et non comme convertisseur d'énergie, chaque éolienne est optimale dans le contexte technique et socio-économique de son époque. L'histoire des techniques proposée s'articule autour de la notion de fonction en relation d'une part avec le fonctionnement opératoire d'une combinaison de structures matérielles, d'autre part, l'intention de concepteurs et d'utilisateurs agissant suivant des normes sous-tendues par des valeurs morales, esthétiques et culturelles.

The case study of the "wind turbine" is analyzed through four technical scenes: oil mills in Lille at the end of the 18th century, electric mills in Denmark at the turn of the 20th century, aerogenerators in France in the 1950s, modern wind turbines in the late twentieth century in northern Germany. Each of these technical scenes is the subject of a technical analysis based on the knowledge of wind, aerodynamics and structural mechanics and a socio-economic analysis centered on the sector of activity in which they are integrated, to understand what people are doing with this technical object. This research shows that all wind turbines that have been widely distributed are based on the same global architecture and on the same physical principle

allowing the definition of indicators of performance and regularity over a long period. Considered as a production machine and not as an energy converter, each wind turbine is optimal in the technical and socio-economic context of its time. The proposed history of the techniques revolves around the notion of function in relation, on the one hand, to the operation of a combination of material structures and on the other to the intention of designers and users acting according to standards underpinned by moral, aesthetic and cultural values.

INDEX

Mots-clés : histoire des techniques, Europe, XVIIIe-XXe siècles, énergie, éolienne, moulin à vent, aérogénérateur

Thèmes : positions de thèse

Keywords : history of technology, Europe, XVIIIth-XXth centuries, energy, wind turbine, windmill, aerogenerator

AUTEUR

PHILIPPE BRUYERRE

Ingénieur Arts et Métiers, titulaire d'un master en Philosophie des Sciences et Techniques, créateur d'entreprise dans le domaine de l'énergie éolienne en 1980 puis en 1992, Philippe Bruyère a soutenu une thèse en histoire des techniques à l'EHESS au Centre Alexandre Koyré. Sous la direction de Liliane Hilaire-Pérez, sa recherche a porté les relations entre dynamiques techniques et dynamiques socio-économiques sur la base d'une étude de cas, celle de l'éolienne en Allemagne, au Danemark et en France.