



HAL
open science

Les ressorts d'une souveraineté conceptive - penser, enseigner et organiser la conception collective

Pascal Le Masson, Benoit Weil

► **To cite this version:**

Pascal Le Masson, Benoit Weil. Les ressorts d'une souveraineté conceptive - penser, enseigner et organiser la conception collective. e-Phaïstos, 2022, 10.4000/ephaistos.10473 . hal-03918329

HAL Id: hal-03918329

<https://minesparis-psl.hal.science/hal-03918329v1>

Submitted on 2 Jan 2023

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.

Les ressorts d'une souveraineté conceptive - penser, enseigner et organiser la conception collective

The sources of design sovereignty: thinking, teaching and organizing collective design

Pascal Le Masson et Benoit Weil



Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/ephaistos/10473>

DOI : [10.4000/ephaistos.10473](https://doi.org/10.4000/ephaistos.10473)

ISSN : 2552-0741

Éditeur

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

Ce document vous est offert par Bibliothèque de MINES ParisTech



Référence électronique

Pascal Le Masson et Benoit Weil, « Les ressorts d'une souveraineté conceptive - penser, enseigner et organiser la conception collective », *e-Phaïstos* [En ligne], X-2 | 2022, mis en ligne le 24 décembre 2022, consulté le 02 janvier 2023. URL : <http://journals.openedition.org/ephaistos/10473> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/ephaistos.10473>

Ce document a été généré automatiquement le 26 décembre 2022.

Tous droits réservés

Les ressorts d'une souveraineté conceptive - penser, enseigner et organiser la conception collective

The sources of design sovereignty: thinking, teaching and organizing collective design

Pascal Le Masson et Benoit Weil

Introduction : la souveraineté conceptive pourrait-elle être liée à l'invention de nouvelles rationalités conceptives ?

- 1 La crise COVID et les crises successives qui secouent les industries et les sociétés depuis quelques années ont remis sur le devant de la scène la question de la souveraineté industrielle (voir par exemple Glasze *et al.* 2022). Les pénuries se multiplient : masques et équipements sanitaires, vaccins, composants électroniques, énergie... La souveraineté industrielle est souvent assimilée à la capacité à produire les biens manquant quand les chaînes d'approvisionnement commercial sont défaillantes. Mais cette souveraineté productive ne saurait masquer les enjeux sous-jacents d'une souveraineté conceptive : car il ne s'agit pas seulement de produire mais plutôt de (ré-)inventer des solutions originales pour les sociétés contemporaines – nouveaux vaccins, nouveau soin, et plus généralement, à l'heure des grandes transitions, nouvelles mobilités, nouvelles énergies, nouveaux logements, nouveaux modes de vie. *La souveraineté conceptive renvoie à la capacité d'une société d'inventer collectivement son futur et plus spécifiquement aux puissances génératives capables de cette invention collective.*
- 2 Il est largement reconnu que le développement industriel et la souveraineté qui lui est associée tiennent aux innovations et à un triptyque recherche-industrie-société (ou science-technique-usage) qui y contribue. C'est plus récemment que se sont développées des approches portant sur les raisonnements et les pratiques de

conception elles-mêmes, consistant à explorer la façon dont les acteurs pensent et s'organisent pour générer des innovations et, plus encore, à explorer les *évolutions historiques* dans ces façons de penser et de s'organiser. Les travaux ont contribué à mettre en évidence des modèles de raisonnement et de pratiques évoluant et s'enrichissant au cours du temps, montrant ainsi que la rationalité conceptive n'était pas un universel atemporel et qu'elle avait pu faire l'objet d'efforts de modélisations spécifiques, permettant d'augmenter la puissance générative d'individus et de collectifs. Cette historicisation de la rationalité conceptive a conduit à formuler l'hypothèse que le développement de nouvelles souverainetés conceptives pouvait être associé au développement de nouvelles puissances génératives, elles-mêmes fondées sur de nouvelles rationalités et de nouvelles pratiques individuelles et collectives de conception. Autrement dit : *la souveraineté conceptive pourrait-elle être liée à des nouvelles formes de raisonnement ?* Et plus précisément : *liée par exemple à des nouvelles formes d'enseignement du raisonnement de conception, liée à la formation de nouveaux acteurs collectifs rendus possibles par ces nouvelles formes de raisonnement ?* Cet article contribue à l'exploration de cette proposition.

- 3 Dans un premier temps, nous précisons la problématique, qui consiste à étudier les rationalités conceptives et leurs évolutions, en nous appuyant sur les cadres analytiques fournis par les avancées de la théorie de la conception et en évitant les langages de l'innovation (adoption, transfert, diffusion, traduction, appropriation, mutation-sélection, émergence aléatoire...) trop atemporels. Nous présenterons ensuite deux cas historiques d'émergence d'une nouvelle rationalité conceptive et montrerons les liens étroits avec les enjeux de souveraineté conceptive. En conclusion, nous en déduirons trois propositions sur les ressorts d'une souveraineté conceptive et illustrerons les conséquences de ces propositions pour une souveraineté conceptive contemporaine.

Problématique : historiciser les rationalités conceptives pour mettre au jour les ressorts des nouvelles puissances génératives

- 4 De très nombreux travaux ont porté sur la façon dont le développement et la croissance pouvaient tenir aux dynamiques d'innovation. Il est curieux de noter que certains de ces travaux ont pu faire l'économie d'une modélisation de l'activité conceptrice elle-même : ainsi les modèles dits de croissance endogène (Aghion and Howitt 1992) vont modéliser les « découvertes » selon un processus aléatoire poissonien dans lequel l'intensité des événements serait directement déterminée par le niveau d'investissement en R&D, ce dernier n'étant motivé que par des incitations économiques. Il s'agit d'une modélisation qui n'a que peu à voir avec les raisonnements complexes tenus par les concepteurs industriels (ingénieurs, designers, chercheurs...). Le modèle s'efforce de décrire certains effets économiques (productivité) du raisonnement créatif mais ignore les impacts fonctionnels et socioéconomiques recherchés par les concepteurs eux-mêmes (mobilité, santé, cohésion sociale, durabilité...). C'est donc un modèle tout à la fois illusoirement prédictif et incapable de rendre compte des impacts les plus profonds de l'action créative.

- 5 C'est là un cas tout à fait extrême. Des approches plus nuancées vont par exemple examiner la performance de configurations de type triple hélice (université, industrie, pouvoir publics) (Shinn 2002 ; Etzkowitz 2002) (Etzkowitz and Leydesdorff 2000), quadruple hélice (en ajoutant le public) (Carayannis and Campbell 2009) ou quintuple hélice (pour tenir compte de l'environnement) (Galvao et al. 2019). Plus généralement, il faudrait pouvoir passer en revue ici les nombreux modèles décrivant les écosystèmes d'innovation et la façon dont s'établit une capacité collective d'innovation à l'interface des grands acteurs constitués que sont les entreprises, les universités, les pouvoir publics mais aussi le public-usager. On serait alors surpris de constater à quel point ces modèles décrivent les processus d'innovation dans un langage de l'adoption, du transfert, de l'appropriation, de la traduction (voir *acteur-network theory*, Akrich et al. 1988), voire de l'émergence aléatoire ou de la mutation-sélection (voir les modèles évolutionnistes) ... donc un langage qui laisse dans l'ombre la rationalité du processus de conception lui-même. Faut-il en conclure que la rationalité du processus de conception ne serait pas un enjeu, que cette rationalité conceptive serait indépendante des questions de souveraineté industrielle ?
- 6 Des travaux plus récents conduisent pourtant à envisager un lien entre rationalité conceptive et souveraineté industrielle. Passons en revue quelques indices en faveur de cette thèse :
- (Agogué et al. 2012) a montré, dans le cas des innovations portant sur l'aide à l'autonomie des personnes âgées, que les biais de raisonnement de conception pouvaient créer un phénomène dit d'« innovation orpheline », i.e. conduire à laisser des espaces d'innovation orphelins de toute exploration. Le travail montre donc qu'une rationalité conceptive biaisée peut freiner fortement l'innovation au niveau d'un écosystème industriel. L'étude a été répliquée sur d'autres domaines tels que la biomasse énergie ou la sécurité des utilisateurs de 2-roues (Agogué 2012).
 - Il est aujourd'hui clairement établi que les rationalités conceptives ont évolué au cours du temps et qu'elles ne sont donc pas atemporelles (König 1999 ; Heymann 2005 ; Valibhay et al. 2020). (Valibhay et al. 2020), en s'appuyant notamment sur (Duffy 2007 ; Landers 2010), a ainsi étudié les évolutions de la codification du raisonnement d'invention dans la jurisprudence du droit du brevet américain sur deux siècles, mettant en évidence trois phases distinctes correspondant à des modélisations du raisonnement d'invention spécifiques : régime de la nouveauté (1790-1851), régime du progrès fonctionnel (1851-1940), régime de l'originalité combinatoire (1941-2007) - et à des formes différentes de systèmes techniques.
 - On sait en outre que ces rationalités conceptives nouvelles sont nécessaires à l'organisation de la R&D contemporaine : en effet, en explicitant une division du raisonnement de conception en étapes élémentaires successives, ces rationalités conceptives nouvelles ont rendu possible une division du travail dans les projets de développements de produits des entreprises. (Le Masson et Weil 2010a) montrent ainsi les étapes successives qui ont conduit à l'invention de la conception systématique, qui est à la fois un raisonnement de conception particulier et une organisation, les deux étant en correspondance. Le raisonnement de conception systématique (présenté dans un ouvrage très largement diffusé et réédité dont la première version date de 1977 (Pahl and Beitz 1977), codifie les étapes par lesquelles un nouveau produit est pensé : il doit d'abord être conçu par ses fonctions (phase de clarification de la tâche), puis par ses principes techniques (phase de design dit conceptuel), puis dans son architecture et ses organes (phase design physico-morphologique ou *embodiment*) et enfin dans le détail optimisé de chacun de ses composants (phase de design

détaillé) (voir figure 1 ci-dessous). À ce raisonnement correspondent des formes organisationnelles : un nouveau produit peut être conçu d'abord par le marketing qui se charge de la description fonctionnelle puis par le bureau d'étude amont qui se charge des modèles conceptuels et enfin par les équipes projets (aval) qui se chargent de l'intégration et de l'optimisation.

- On sait aussi que l'invention de rationalités conceptives nouvelles a régulièrement été stimulée par des questions de créativité qui n'étaient pas sans lien avec des enjeux socio-économiques (Le Masson et al. 2011).

7 Ces résultats conduisent donc à formuler la thèse d'un lien entre l'invention de rationalités conceptives nouvelles et l'émergence de nouvelles formes de souveraineté conceptive et de nouvelles formes de puissances génératives. C'est ce lien que nous allons maintenant éclairer.

8 Notre programme peut être caractérisé de la façon suivante :

1. **Objectif** : il s'agit de repérer l'interaction entre l'apparition de nouvelles rationalités conceptives et l'apparition de nouvelles capacités de conception constituant des puissances génératives et assurant une souveraineté conceptive.

- Par rationalité conceptive on entend un modèle de raisonnement pour concevoir de nouveaux produits ou services ou tout autre artefact (œuvres d'art, typo, style...).
- Par nouvelle capacité de conception, on entend de nouveaux types d'acteurs concepteurs (par exemple : organisations de type bureau d'étude ou laboratoire de recherche industrielle), leurs ressources (par exemple : nouvelles connaissances et compétences mobilisées) et les inconnus que ces acteurs cherchent à explorer (par exemple : « des locomotives qui consomment moins de charbon »). La puissance générative de ces acteurs renvoie à « l'efficacité » de ces acteurs dans leur exploration de certains inconnus, grâce aux ressources de conception disponibles. Cette puissance peut être faible (peu d'inconnus explorés...), elle peut aussi être biaisée (nombreux inconnus explorés mais dans une même direction – effet de fixation). La notion de souveraineté renvoie très classiquement à la qualité d'un État « de n'être obligé ou déterminé que par sa propre volonté, dans les limites du principe supérieur du droit » (source wikipedia, Le Fur 1896, p. 443 ; voir aussi Glasze et al. 2022). Par souveraineté *conceptive*, on souhaite insister sur une facette spécifique de cette capacité d'autodétermination : non pas seulement le pouvoir de *choisir* son futur – qui induirait de choisir dans une liste de futurs déjà déterminés ? - mais aussi *la capacité d'inventer son futur*.

2. **Matériel** : on se propose d'étudier deux cas historiques célèbres : le développement de la théorie de la conception paramétrique par Ferdinand Redtenbacher à l'école Polytechnique de Karlsruhe dans les années 1840 ; le développement de la rationalité conceptive créative des designers par les professeurs du Bauhaus, notamment Johannes Itten et Paul Klee, à Weimar, dans les années 1920.

- Dans les deux cas, on s'intéresse à une nouvelle formation (voire une nouvelle institution de formation) qui revendique de pouvoir aider les étudiants à mieux concevoir – on notera que ces institutions (ou plus précisément leurs professeurs : Redtenbacher à Karlsruhe, Itten ou Klee à Weimar) ne revendiquent pas (seulement) de délivrer un savoir mais bien d'améliorer les capacités individuelles à penser et à agir en concepteur. Elles revendiquent aussi de provoquer cette amélioration des capacités individuelles de conception par le développement de méthodes nouvelles et originales. Autant d'indices qu'on aurait là l'enseignement d'une nouvelle rationalité conceptive, qui reste à caractériser.

- Dans les deux cas, les institutions sont célèbres pour leur impact dans de nombreux domaines : les formations qui ont été développées ont largement diffusé dans d'autres institutions dans de nombreux pays, elles ont été imitées par des collègues ou reprises par des anciens élèves qui pouvaient s'appuyer sur leurs notes, leur expérience ou, dans le cas de Redtenbacher, sur des ouvrages traduits dans plusieurs langues et réédités à de nombreuses reprises pendant des décennies. Ce succès est à son tour un indice qu'on aurait là un impact en termes de développement de capacités de conception nouvelles, capacités de conception qui restent à caractériser.
- Pour ces deux cas, on s'appuie sur un corpus de travaux très important (pour Redtenbacher (Fuchs 1959 ; Grashof 1866 ; Keller 1910 ; Kretzschmann 1865 ; Plank 1950 ; Redtenbacher 1858 ; Redtenbacher 1861 ; Redtenbacher 1909) ; pour le Bauhaus : sources primaires (Gropius 1923, 1925 ; Itten 1975, 1961 ; Kandinsky 1975 ; Klee 1922, 2005, 1966) et sources secondaires (Wick 2000 ; Whitford 1984 ; Droste 2002 ; Schwartz 1996 ; Campbell 1978 ; Friedewald 2011) ; et nous renverrons sur plusieurs points à des publications récentes plus approfondies, notamment (Wauer et al. 2009 ; Le Masson and Weil 2010a) et (Le Masson et al. 2016b).

3. **Méthode** : il n'est pas aisé d'observer et de caractériser les deux objets d'intérêt, qui supposent donc des cadres analytiques spécifiques :

- Pour *caractériser les rationalités conceptives*, nous nous appuyerons sur un modèle général de la théorie de la conception récent et éprouvé, la théorie C-K. Ce modèle nous donne des descripteurs d'un raisonnement de conception qui constitueront nos observables. Cette méthode a déjà été utilisée avec succès dans d'autres études cherchant elles-aussi à identifier les évolutions des rationalités conceptives (voir Le Masson and Weil 2010a ou Valibhay et al. 2020) (voir présentation de la méthode dans l'encadré ci-dessous)
- Pour *caractériser les capacités de conception, la puissance générative et la souveraineté conceptive associées*, nous analyserons : les inconnus spécifiquement explorés par les acteurs ayant suivi les formations ; les ressources de conception dont ils ont pu disposer ; les formes organisationnelles mobilisées dans l'action.

Encadré : analyse des rationalités conceptives grâce à la théorie C-K (Le Masson and Weil 2010b)

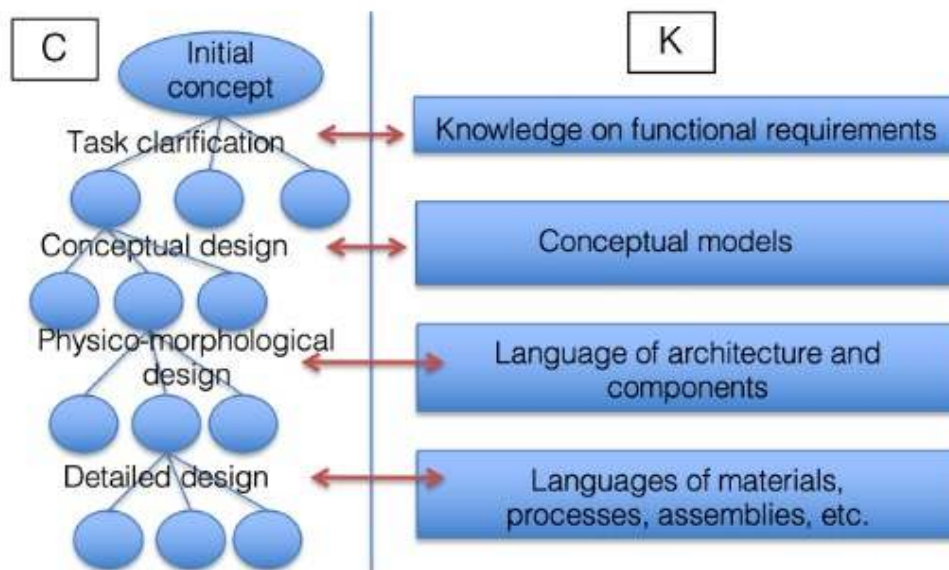
La théorie C-K distingue l'espace des connaissances (K), l'ensemble des propositions ayant un statut logique (et en particulier les connaissances scientifiques, les savoir-faire ...), et l'espace des concepts (C), l'espace des propositions sans statut logique (à commencer par les propositions servant à décrire les objets - produits, services, ...- qu'il y a à concevoir). Tout processus de conception consiste à ajouter au concept des attributs issus de K jusqu'à ce que la phrase ainsi formée ait un statut logique. Quatre opérateurs sont mobilisés en cours de processus : de C dans K (le concept suggère d'activer des connaissances dans K), de K dans C (des propriétés connues, dans K, sont mobilisées pour raffiner le concept), de K dans K (des connaissances sont déduites des connaissances existantes), de C dans C (le concept se structure en sous-ensembles consistants).

Toute théorie de la conception peut alors s'interpréter comme une classe particulière de la théorie C-K, précisant certaines structures dans l'espace des connaissances (modélisation objets, structuration de la connaissance en métiers, en disciplines, structure entité-relation, type de logique, ...), certaines structures de C ou des structures des opérateurs (opérateurs de décision, d'évaluation, créativité, ...). Ainsi la conception systématique évoquée ci-dessus et décrite par

Pahl et Beitz consiste à distinguer plusieurs langages successifs sur l'objet (langages fonctionnel, conceptuel, physico-morphologique, ...), de sorte que concevoir en conception systématique consiste à utiliser pas à pas certains types de connaissances (connaissances sur la demande, sur les fonctions, sur les grands principes techniques, ...) pour raffiner l'objet en cours de conception. Dans la théorie C-K, la conception systématique au sens de Pahl et Beitz prendrait la forme (très simplifiée) ci-dessous. La théorie est donc à la fois une théorie des structures de K (les langages), de celle de C (étagement des raffinements progressifs) et des opérateurs (divergence, évaluation et sélection à chacun des niveaux).

Le formalisme permet ainsi de discuter des éléments critiques apportés progressivement par les théories proposées : les efforts portent-ils plutôt sur les structures de K ? Ou de C ? Ou des opérateurs ?

Fig.1. La conception systématique représentée dans le formalisme C-K



Le Masson, Weil 2013

- 9 Nous étudions d'abord la méthode des rapports développée par Ferdinand Redtenbacher à l'école Polytechnique de Karlsruhe dans les années 1840, en commençant par caractériser en quoi elle est une nouvelle rationalité conceptive pour mieux saisir comment cette rationalité conceptive entre en résonance avec une nouvelle souveraineté conceptive. Nous reproduisons ensuite une analyse similaire, plus rapide, sur le cas du Bauhaus.

Redtenbacher à Karlsruhe : la méthode des rapports et le développement social et économique du grand-duché de Bade

- 10 Nous ne reprendrons pas ici l'histoire détaillée de la naissance de la méthode des rapports développée par l'ingénieur et professeur allemand Ferdinand Redtenbacher (1809-1863) – voir (Le Masson and Weil 2010a). Mais il faut rappeler la profonde originalité de cette méthode, ainsi que la rupture qu'elle constitue avec les rationalités conceptives de l'époque.

La méthode des rapports, une rationalité nouvelle de la conception

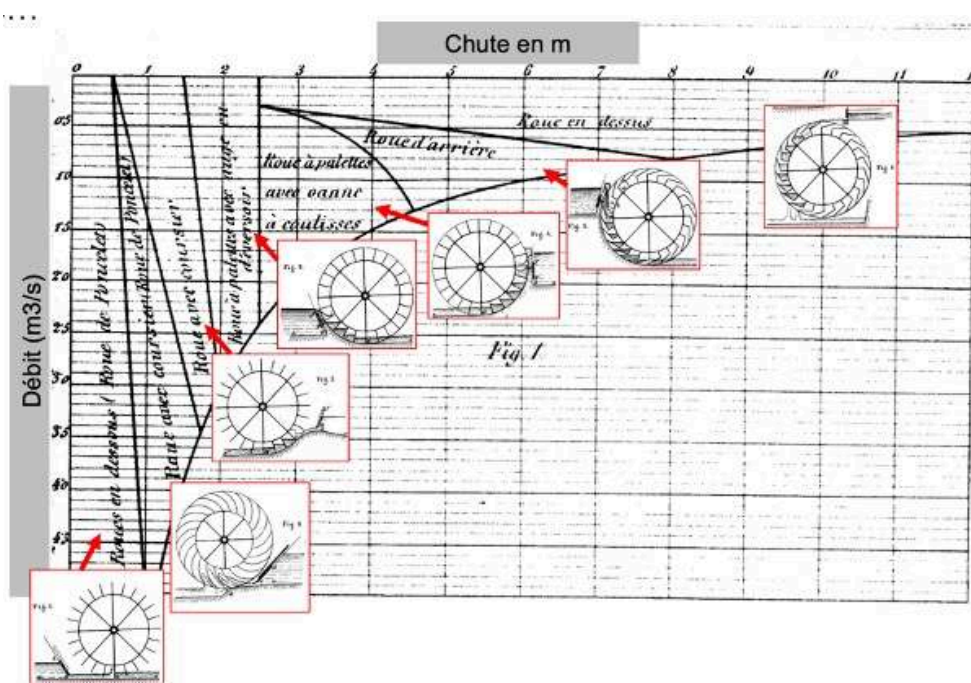
- 11 Redtenbacher prend d'une part ses distances avec le modèle de formation des ingénieurs civils anglais : « Nous, sur le continent, n'avons ni les ressources financières, ni cette large expérience dans l'exercice de toutes les spécialités pour pouvoir suivre le chemin d'un empirisme pur. Nous sommes donc contraints de remplacer ou de supporter l'argent manquant et l'expérience limitée par la force intelligente et l'unité scientifique »¹. S'écarter de « l'empirisme pur » pouvait signifier, à l'époque de Redtenbacher, prendre le chemin tracé notamment par l'École Polytechnique, qui propose d'enseigner les sciences (mathématique, mécanique...) aux futurs concepteurs. Mais Redtenbacher écarte aussi cette alternative : il écrit dans sa préface aux « *Resultate für den Maschinenbau* » :

« Avec les principes de la mécanique, on n'invente pas de machine, car pour cela il faut aussi, à côté d'un talent d'invention, une connaissance exacte du processus mécanique auquel la machine doit servir. Avec les principes de la mécanique on ne peut apporter une esquisse de machine car pour cela il faut aussi un sens de la composition, de la disposition et de la mise en forme. Avec les principes de la mécanique on ne peut réaliser aucune machine car pour cela il faut des connaissances pratiques des matériaux à travailler et une familiarité avec la prise en main des outils et la manipulation des machines. Avec les principes de la mécanique on ne mène pas d'affaire industrielle car pour cela il faut une personnalité de caractère et une connaissance des affaires commerciales »².

- 12 Les *Resultate* ont en fait été traduits en français en 1861. La préface de 1848 a elle aussi été traduite, pratiquement dans son intégralité. Mais la phrase ci-dessus ne figure pas dans la traduction française ! Difficile de ne pas y voir en effet une critique sévère d'une rationalité conceptive assimilée à la science, les sciences de la mécanique de l'époque ne pouvant selon Redtenbacher constituer un enseignement de conception complet. Entre ces deux voies, Redtenbacher propose une méthode de conception originale.
- 13 Avant d'analyser la logique générale de la méthode des rapports, donnons un exemple de son fonctionnement sur un cas simple : la conception des roues hydrauliques³. Dans une première partie de l'ouvrage (chapitres 1 à 3), Redtenbacher fait un état de l'art des roues et des théories existantes pour formuler progressivement un ensemble « d'équations d'effets » concernant la performance et les dimensions d'une roue hydraulique. Il s'appuie sur les travaux de Poncelet (*op. cit.*), Navier, Morin, mais aussi Smeaton, dont les essais sont déjà anciens -1759- et donne également les résultats de ses propres essais. Au besoin, Redtenbacher complète l'état de l'art par des modélisations complètes des machines existantes regroupées par grands types.

- 14 Une fois ces grands modèles descriptifs constitués, Redtenbacher passe à une seconde partie de l'ouvrage, la plus originale : la méthode des rapports. Le chapitre 4 précise ainsi la série des règles à employer pour évaluer « les formes et les dimensions spécifiques dont l'effet de la roue dépend préférentiellement dans la condition d'une réalisation parfaite de l'ouvrage ». La méthode suit tout d'abord les grandes étapes d'un *dialogue fictif* entre le concepteur-entrepreneur et son client. La première question à poser, selon Redtenbacher, concerne le budget que le client est prêt à consacrer à l'ouvrage, car suivant la réponse, le concepteur s'orientera soit vers une roue en bois, soit vers une roue en métal, roues dont les rendements et les équations dimensionnantes sont très différents. Une fois le matériau choisi, viennent deux questions : la hauteur de chute du cours d'eau et le débit utilisable (ou, ce qui revient au même, la puissance attendue sur l'arbre). Le concepteur doit alors utiliser un abaque (cf. fig. 2) qui lui permet, en fonction de la hauteur et du débit, de choisir le type de roue le meilleur (ainsi un cours d'eau de montagne, à grande hauteur de chute et petit débit utilisera une roue en dessus, alors qu'un cours d'eau de plaine, à faible hauteur de chute et fort débit favorisera une roue de Poncelet...). On va ensuite jusqu'à définir les dimensions principales (rayon, taux de remplissage, vitesse à la circonférence, volume par auget, profondeur de la roue, nombre d'augets, nombre de bras, jeu de la roue dans le coursier).

Fig.2. Abaque pour le choix du type de roue hydraulique en fonction des conditions d'utilisation



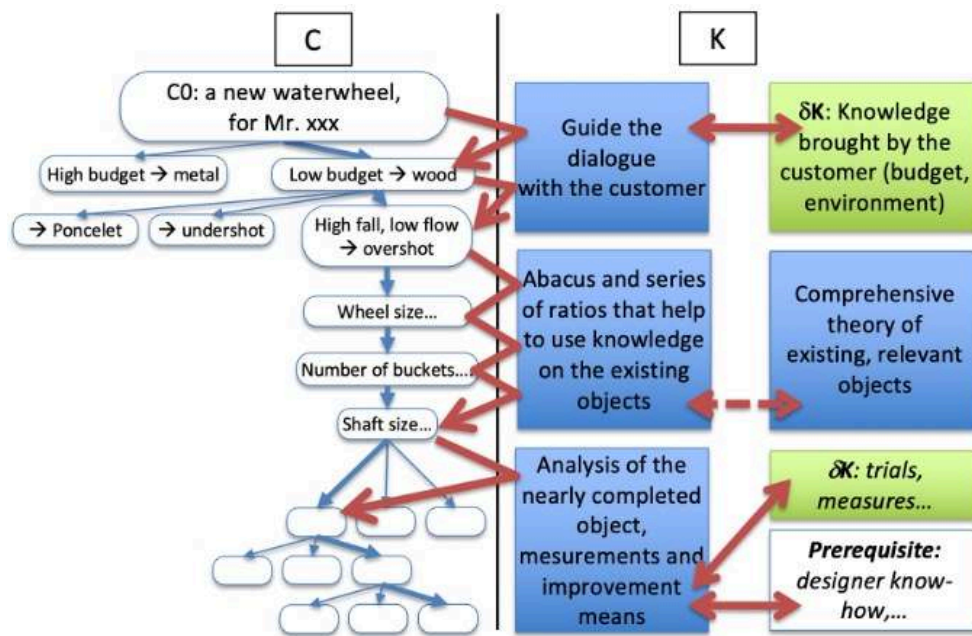
Le Masson, Weil 2010

- 15 Pour Redtenbacher, c'est, à l'époque, la partie la plus critique du raisonnement, car, constate-t-il, la plupart des roues sont mal adaptées au contexte.
- 16 Le concepteur spécifie ensuite pas à pas l'ensemble des parties de l'ouvrage, en suivant des méthodes de calcul voire des plans (proposés dans l'ouvrage) qui s'assimilent en fait à des patrons (tels qu'on peut les voir en couture) : le plan est adimensionnel et lui aussi précise les rapports entre les parties en fonction d'une unité fixée connue. Il

précise ensuite les modes de liaison et le niveau de précision avec lequel l'ensemble doit être réalisé. Enfin, une dernière partie concerne ce qu'on peut appeler la mise au point : Redtenbacher rappelle les formules pour le rendement théorique et la technique de mesure du rendement réel. Il invite le concepteur à comparer le rendement mesuré sur l'installation au rendement théorique et indique les moyens d'améliorer le rendement réel sur une roue presque achevée.

- 17 Plus généralement, sur un très grand nombre de types de machines, la méthode des rapports fonctionne toujours de la même façon, que l'on va décoder maintenant avec la théorie C-K (voir fig.3).
1. La méthode doit aider un concepteur à penser une nouvelle machine dans un type connu : « une nouvelle roue hydraulique pour M. xxx » est le concept initial en théorie C-K.
 2. La méthode rappelle d'abord qu'il existe déjà de nombreuses connaissances sur le type de machine concerné (dans l'espace K en théorie C-K) : il existe un ensemble de règles, résultant de travaux antérieurs et complété par les soins de l'auteur, concernant l'objet à concevoir. Il est intéressant de voir avec quel soin Redtenbacher sépare, dans ses cours et ses manuels, la partie où il constitue des « théories complètes » des objets existants (voir les chapitres 1 à 3 sur les roues) (espace K) et la partie où il propose une démarche pour déterminer progressivement l'objet inconnu (espace C).
 3. Dans cette seconde partie, il s'agit de préciser pas à pas les descripteurs de la roue hydraulique. La méthode indique quelques connaissances clés à acquérir concernant le client (son budget, qui déterminera la matière principale de la roue, en bois ou en métal ; le type de cours d'eau et la puissance attendue, qui détermineront le type de roue). Puis le dimensionnement va se poursuivre sur la base des connaissances disponibles sur les roues.
- 18 Ainsi, à une modélisation des objets en K, Redtenbacher ajoute un raisonnement à suivre en C pour concevoir un nouvel objet singulier (conception « sur mesure »). Les cours classiques de mécanique laissaient penser que le modèle dans K suffisait à concevoir, comme si le modèle en C se déduisait aisément de K. La surprise est que *ce « double » en C a une structure très différente de celle du modèle objet en K* : le modèle objet établit des relations entre des attributs de l'objet (existant) alors que la méthode des rapports *explícite l'ordre dans lequel les attributs déterminant l'objet doivent être ajoutés pour en concevoir un nouveau*. C'est pourquoi l'on peut dire que la méthode de Redtenbacher n'est pas (seulement) une théorie des objets existants mais une théorie pour construire des objets encore partiellement inconnus à partir du connu, et c'est cela qui en fait un modèle de rationalité conceptive (voir schéma ci-dessous, fig.3)

Fig.3. Analyse de la théorie des rapports grâce à la théorie C-K



Le schéma ci-dessus montre les apports de la théorie des rapports : en K figurent les théories complètes des objets existants ; en C figurent le modèle génératif permettant de passer d'une demande sur un objet à la réalisation de cet objet. Les parties laissées sur fond blanc et vert sont les éléments apportés par le concepteur et non intégrés dans la théorie.

Pascal Le Masson, Benoit Weil

Origine et impact de cette nouvelle rationalité : une nouvelle souveraineté industrielle

- 19 Resituons maintenant cette nouvelle rationalité conceptive dans son contexte : nous allons montrer la connexion entre un nouveau modèle de raisonnement et des enjeux de souveraineté – nous examinons d'une part certains facteurs ayant conduit au développement de cette nouvelle rationalité, facteurs liés aux enjeux de souveraineté conceptive, et d'autre part certains impacts de cette nouvelle rationalité, impacts en termes de souveraineté conceptive.

À l'origine de la formation des ingénieurs concepteurs de machines : une demande de développer des façons de penser une production utilisant mieux les ressources

- 20 On sait aujourd'hui que Redtenbacher a pu développer cette méthode des rapports notamment grâce à une solide connaissance des techniques de son temps - il s'est formé notamment auprès de l'entreprise suisse Escher-Wyss, grand constructeur de machines dont la réputation était telle que Manchester Guardian a pu écrire en 1845 que « nulle part en Angleterre on ne peut acquérir une aussi bonne éducation technique que sous la direction de Caspar Escher aux Neumühle de Zürich »⁴. On sait aussi que Redtenbacher a développé sa méthode des rapports spécifiquement pour son enseignement à l'école polytechnique de Karlsruhe à partir de 1841 (et pas à Zurich où Redtenbacher a enseigné de 1833 à 1841), une école nouvellement créée et qui s'inscrivait dans une réflexion d'ensemble menée dans le grand-duché de Bade sur la

question de la formation technique. Or on trouve un curieux effet d'échos entre la méthode des rapports et les besoins exprimés par les dirigeants du grand-duché, notamment exprimés par les écrits d'un de ses grands commis, Karl Friedrich Nebenius (1784-1857).

- 21 Formé à Tübingen en droit, en gestion des finances (Matz 1998), mais aussi en mathématiques et en sciences naturelles (von Weech 1886), ayant une expérience de l'administration française à la préfecture du Doubs sous l'empire, Nebenius va occuper plusieurs positions au service de l'État de Bade de 1807 à 1849. À cette époque le grand-duché de Bade (environ 1 million d'habitants vers 1840 dont 25 000 à Karlsruhe) est loin d'être une puissance industrielle mais connaît une forte croissance. Nebenius participe à la politique volontariste de développement économique⁵ du grand-duché de Bade. Il rédige la (très libérale) constitution de Bade en 1818, contribue au développement des infrastructures (port de Mannheim, chemin de fer Mannheim-Bâle) ou à l'entrée du grand-duché dans l'alliance douanière du Zollverein. À côté de ces formes plutôt classiques de l'action publique pour le développement économique, Nebenius porte un intérêt tout particulier à l'enseignement et à la formation technique. Il écrit à ce sujet un ouvrage intitulé « Sur les établissements d'enseignement technique dans leur rapport avec le système éducatif général et avec une attention particulière à l'école polytechnique de Karlsruhe » (Nebenius 1833). L'ouvrage de plus de 200 pages, qui précède de plusieurs années l'arrivée de Redtenbacher à Karlsruhe, apporte un riche éclairage sur ce qui a pu soutenir et motiver les travaux sur la méthode des rapports :

1. *Une ambition d'innovation et de progrès.* Il s'agit de penser un enseignement qui contribue au « développement social dans toutes ses dimensions » (p. iii), qui « améliore la production en produisant davantage avec autant de ressources ou produisant autant avec moins de ressources », qui répondent aux « nouveaux besoins » de toute la société (p. viii). À l'heure où « une masse de nouvelles connaissances dans les sciences mathématiques, l'histoire naturelle et les sciences naturelles peuvent trouver une application dans de nombreuses branches de la production » (p. 34), ; le système éducatif doit évoluer, car aujourd'hui « un état stationnaire apparaît comme un recul » (p. vi). Nebenius se fait par moment plus précis encore sur les inconnus que la formation devra adresser : au chapitre décrivant ce qui est attendu d'un ingénieur formé dans la nouvelle école polytechnique (un ingénieur qui serait donc, pour Nebenius, aussi bon qu'un ingénieur anglais spécialiste des machines pour toutes les branches industrielles), Nebenius indique « qu'un des plus grands services que la formation pourra rendre au pays sera d'améliorer les nombreuses roues hydrauliques » (p. 140), de façon à mieux utiliser la ressource en eau tout en disposant de toute l'énergie nécessaire pour la production. Et cette amélioration devra passer par un nouvel enseignement en école d'ingénieur et aussi un nouvel enseignement dans les écoles techniques (*Gewerbeschule*, écoles de métiers), i.e. tous les acteurs en charge de tout ou partie de la conception et de la réalisation de la roue. On comprend dès lors que l'ouvrage de Redtenbacher de 1843 répondra dix ans plus tard à une demande explicite du fondateur de l'école !
2. *De nouvelles ressources nécessaires et notamment un appel à de nouvelles capacités de raisonnement.* Pour réaliser cet objectif de progrès industriel, il est nécessaire de délivrer largement les connaissances nouvelles nécessaires aux améliorations de la production, mais il faut aussi des professeurs de grande qualité et plus généralement des institutions à tous niveaux de formation, allant des écoles populaires (*Volksschule*) jusqu'à l'école polytechnique de Karlsruhe au sommet. Cette école Polytechnique a pour mission de former des fonctionnaires mais aussi des formateurs pour les enseignants de tout le système éducatif et également des ingénieurs aussi brillants que les techniciens de Grande-Bretagne, ces "*civil engineers*" dont Nebenius dit « qu'ils rendent les plus grands services à l'industrie de leur

pays » (p. 13 et à nouveau p. 140). Nebenius pense un système éducatif complet – qui préfigure ce qui deviendra le Dual System allemand, ce système éducatif qui permet une formation de techniciens de haut niveau, socialement reconnus, dont la formation combine apprentissage pratique intensif et une solide base scientifique. Plus encore : pour Nebenius, l'enjeu n'est pas tant dans le savoir que dans la méthode, la façon d'observer, de penser, d'agir. En effet les améliorations de la production sont aujourd'hui (en 1830) dues soit à des découvertes « par hasard », soit à de « la recherche qui pourtant ne visait que la découverte de vérités scientifiques », soit à « des essais plus ou moins pénibles, guidés par la théorie » (p. 55-56). Mais les essais peuvent être aveugles, inutiles et ruineux (p. 57) aussi, « pour que les découvertes dues au hasard soient plus fréquentes et les essais plus souvent couronnés de succès », il s'agit, « par une formation intellectuelle et technique, de mettre les classes productives en position d'observer, de juger et d'utiliser les heureuses occasions qui se présentent, de les mettre en position de rendre fécondes pour la production les vérités nouvelles gagnées par la science, de les mettre en position d'organiser leurs propres essais de façon appropriée » (p. 57). Insistons : il s'agit bien de *mettre au point une formation technique et intellectuelle qui permette de faire plus souvent des découvertes aléatoires* – une formation qui, dans les termes d'un modèle de croissance endogène, pourrait modifier le paramètre du processus de Poisson mieux que ne le ferait un investissement en R&D !

3. *Des modèles français et anglais insuffisants.* L'ouvrage fait une analyse comparative des systèmes de formation technique en Europe, avec une attention soutenue au cas français, où il ne se limite pas, loin de là, à l'analyse de l'école polytechnique mais passe en revue l'ensemble du système éducatif. Et on y trouve d'ores et déjà l'idée, retrouvée plus tard chez Redtenbacher, que le modèle badois ne saurait ni être calqué sur l'école Polytechnique française ni sur le modèle anglais. Il juge le niveau scientifique de l'école Polytechnique très élevé et même plutôt trop élevé pour les attentes du grand-duché, qui vise un enseignement scientifique et technique solide mais accessible à tous. Quant à la Grande-Bretagne, il admire la qualité de ses “civil engineers” mais il constate que ce sont les entreprises anglaises qui se chargent de les former et qu'un tel tissu de riches entreprises manque dans le grand-duché – il se demande aussi si le manque d'implication du gouvernement anglais dans le développement d'enseignements adaptés ne conduit pas à « élargir le fossé qui sépare la fraction la plus heureuse de la société et la masse innombrable qui met sa force physique au service de cette fraction favorisée » (p. 38) – Nebenius se soucie de développer un système éducatif qui limite les inégalités.

22 Dès l'origine on perçoit donc le lien étroit entre une ambition de souveraineté conceptive et un appel à développer une formation qui aide à penser une production améliorée pour le bien de la société tout entière et pour le bon usage des ressources.

Impacts de la nouvelle rationalité conceptive : nouveaux savoirs, nouveaux inconnus, nouveaux acteurs

23 Examinons maintenant l'impact de cette nouvelle rationalité, la méthode des rapports, notamment au regard des attendus exprimés par Nebenius.

24 Une première façon de caractériser l'impact consiste à constater le succès des anciens élèves et leur réputation. On peut citer Wauer (Wauer et al. 2009): “*Legions of successful engineers, inventors and manufacturers as well professors graduated from the Karlsruhe Polytechnic School*”. Wauer rapporte les propos de (Schnabel 1925) qui déclare, non sans quelque exagération: “*All historic machine engineers of the second half of the 19th century came from Redtenbacher's lecture room and laboratory*”. Wauer constate que la liste est formidablement longue : Max Gritzner (à l'école polytechnique de Karlsruhe en 1843),

fondateur de la célèbre entreprise Gritzner à Karlsruhe. Eugen Langen (à Karlsruhe en 1851-54), qui sera le grand entrepreneur du moteur à gaz avec Nikolaus Otto. En 1855-1857, Carl Anton Oscar Henschel suit le cours de Redtenbacher avant de diriger l'entreprise fondée par son père, pour en faire le premier fabricant de locomotives du continent. Heinrich Sulzer de Winterthur a suivi les cours et a ensuite dirigé la célèbre entreprise de machines à vapeur créée par son père, la *Sulzer steam engine company*. Et on pourrait encore mentionner Fred Wolf (à l'école en 1859) qui fondera l'entreprise de réfrigérateurs Linde, Heinrich Buz, fondateur de l'entreprise M.A.N., August Thyssen (1859-61), fondateur de l'entreprise éponyme, ou encore Emil Skoda ou Carl Friedrich Benz dont les entreprises sont restées célèbres.

- 25 Au-delà des succès individuels, c'est aussi la diffusion de méthode qui nous intéresse ici. La méthode des rapports est une des toutes premières théories de la conception pour le monde des machines. Certes elle n'est pas tout à fait nouvelle : comme le reconnaît Redtenbacher, elle vient des architectes. Wolfgang König note qu'avant Redtenbacher une telle méthode avait déjà été utilisée par des mécaniciens anglais et allemands⁶. Mais toujours selon König, c'est à Redtenbacher que revient le mérite d'avoir introduit l'usage de la méthode à une telle échelle, dans des écoles polytechniques et dans les pratiques industrielles. Elle diffuse fortement via les enseignements, ceux de Redtenbacher mais aussi ceux de ses anciens élèves, tel Franz Reuleaux (que Redtenbacher accusera de plagiat, le premier ouvrage de Reuleaux ayant été largement inspiré des notes prises en cours), embauché comme professeur à Zurich en 1856 (Redtenbacher avait décliné le poste) puis à Berlin en 1864 (poste que Redtenbacher avait décliné 14 ans plus tôt). On repère la diffusion d'un enseignement inspiré de la méthode des rapports de Redtenbacher dans un grand nombre des écoles (bientôt universités) techniques allemandes et on retrouve les ouvrages de Redtenbacher dans les fonds des bibliothèques de nombreux établissements universitaires à travers le monde.
- 26 Comment cet impact se traduit-il en termes de puissance générative et de souveraineté conceptive ? Comme indiqué dans la méthode que nous suivons, nous caractérisons successivement : les inconnus spécifiquement explorés par les acteurs ayant suivi les formations ; les ressources de conception dont ils ont pu disposer ; les formes organisationnelles mobilisées dans l'action.

Une nouvelle rationalité qui permet l'exploration de nouveaux inconnus, à l'échelle des industries d'un état

- 27 En matière d'innovation, les revendications de Redtenbacher semblent devoir être limitées : beaucoup des machines traitées dans ses ouvrages ne sont pas les machines de haute technologie de l'époque. Redtenbacher écrit en 1843 sur la roue hydraulique alors qu'il connaît les turbines modernes conçus par Escher-Wyss et que la machine à vapeur de Watt a déjà plus de 60 ans !
- 28 Mais on sait aussi combien le terme d'innovation est trompeur. Pour Redtenbacher, et surtout pour Nebenius on l'a vu, l'enjeu, c'est le *rattrapage industriel*. La méthode pour concevoir des roues hydrauliques doit assurer la mise à disposition rapide d'une source d'énergie bon marché, performante, faisant bon usage des ressources limitées, adaptée au tissu industriel badois alors en plein développement. C'est cela l'inconnu : non pas « concevoir la meilleure roue », la roue « optimale » (ce qui était plutôt le projet de Poncelet qui cherchait une roue qui transmitt à l'arbre l'intégralité de la quantité de

mouvement disponible dans le cours d'eau) mais concevoir des roues adaptées et variées pour toute l'industrie du pays – *un inconnu à l'échelle des industries d'un État*. Et la méthode de Redtenbacher donne effectivement les outils permettant de réaliser un ensemble de roues variées et adaptées de façon satisfaisante à leur environnement. Et elle s'applique aussi sur de très nombreux autres types de machines – turbines, machines à vapeur, locomotives... Avec à chaque fois le même souci : permettre de concevoir des machines adaptées et variées pour toute l'industrie du pays.

- 29 On notera que ces inconnus présentent évidemment ce que les sciences cognitives contemporaines appelleraient des fixations (Crilly 2015 ; Jansson and Smith 1991) : la tentation de refaire toujours les roues que l'on connaît, que l'on a fait par le passé, que les concurrents font aussi... même si elles ne sont pas adaptées, même si elles ne tirent pas le meilleur parti de la puissance du cours d'eau. Et on peut constater que la méthode consiste précisément à permettre au concepteur de résister à ces fixations ! (Le Masson et al. 2011)

Une nouvelle rationalité qui organise la connaissance pour la conception et permet ainsi de constituer un nouveau patrimoine de création

- 30 Pour explorer ces inconnus, la méthode contribue aussi à ordonner les connaissances disponibles. Il faut souligner ce que la méthode ne fait pas : a) la méthode ne décrit pas toutes les machines possibles, elle ne transforme pas l'inconnu (les machines variées et adaptées pour l'industrie du pays) en connu (toutes les machines désirables seraient réunies dans un catalogue où il n'y aurait plus qu'à choisir) ; b) toutefois la méthode ne se contente pas non plus d'être un méta processus sans connaissances spécifiques.
- 31 Avec la méthode des rapports vient une façon de mettre en ordre le savoir : les machines connues sont décrites systématiquement, à l'aide des savoirs disponibles, les savoirs scientifiques étant notamment très systématiquement répertoriés. Redtenbacher s'inscrit là dans une forme d'encyclopédisme des machines, mettant à la disposition du concepteur l'ensemble du savoir déjà produit. En outre, il va souvent lui-même compléter ce savoir en ajoutant des résultats venus de ses expériences personnelles lorsqu'il lui semble que manquent certaines règles de conception. On est surpris de voir le souci mis par Redtenbacher à donner au concepteur une base de connaissances la plus complète possible, complète au sens où le concepteur devrait, à l'aide du savoir fourni, pouvoir concevoir lui-même sa propre machine sans avoir besoin de produire trop de connaissances supplémentaires.
- 32 On notera que, dans cette perspective de donner au concepteur une base de connaissance toujours à jour et adaptée à la tâche qu'il aura à remplir, Redtenbacher s'efforce de mettre régulièrement à jour ses ouvrages pour tenir compte du renouvellement toujours plus rapide des techniques, procédés et matériaux disponibles.
- 33 Enfin, rappelons que, non seulement la méthode des rapports met à disposition le savoir, mais elle explique aussi comment l'utiliser très systématiquement pour concevoir. En ce sens, ce n'est pas seulement une encyclopédie qui « stockerait » le savoir mais c'est aussi un système d'accès intelligent, adapté à l'usage que peut en faire un concepteur. Le savoir est ordonné de façon à pouvoir favoriser la création de nouvelles machines. Le savoir intégré à la méthode des rapports est à la fois un patrimoine mais aussi un patrimoine mis en ordre pour créer – c'est donc *un patrimoine*

de création au sens développé par (Carvajal Pérez et al. 2020 ; Hatchuel et al. 2019 ; Carvajal Perez 2018).

- 34 On pourra aussi constater que ce patrimoine est riche de l'état de l'art réalisé par l'auteur du manuel mais il a le défaut de ne pas s'enrichir de chacune des nouvelles machines réalisées par le lecteur. Le patrimoine ne peut s'enrichir que lors des rééditions des ouvrages !

Une nouvelle rationalité qui permet une division du travail de conception entre des puissances génératives variées

- 35 Conformément aux attentes de Nebenius, la méthode de Redtenbacher permet une claire division du travail de conception. Grâce à la méthode des rapports, le concepteur lecteur du cours de Redtenbacher peut concevoir même avec un niveau d'expertise limité. Pour tous les objets auxquels elle est applicable, la méthode de Redtenbacher requiert seulement du concepteur : 1) qu'il sache dialoguer avec le client (et encore codifie-t-elle le dialogue), 2) qu'il sache calculer à partir de ratios ou qu'il sache lire des abaques, et 3) qu'il sache faire la mise au point finale (encore précise-t-elle les paramètres sur lesquels agir et les niveaux de performances à atteindre). Autrement dit la méthode ne requiert quasiment aucune production de connaissances supplémentaires au cours du processus. On notera que les connaissances du concepteur (son niveau d'expertise) sur les machines existantes sont indifférentes : soit il en dispose, soit la méthode les lui fournit ; dans certains cas, la méthode dispense même le concepteur d'acquiescer un savoir complexe.
- 36 Un des effets de la méthode est d'introduire *une forme originale de division du travail de conception*. Avant Redtenbacher, un technicien concevait (et également construisait) une machine. La méthode de Redtenbacher conduit à distinguer deux concepteurs : toujours le technicien, éventuellement moins compétent, ou ayant une compétence plus générique (mathématique, lecture des abaques, etc.) ; et aussi un second concepteur : le concepteur du système de règles lui-même, à savoir Redtenbacher lui-même, ou ses élèves ou les enseignants utilisant ses méthodes. L'action de ce second concepteur consiste à préparer autant que possible une « fonction de choix » dans une famille d'objets inconnus (l'ensemble des roues hydrauliques), une fonction de choix qui doit être facile d'emploi pour le concepteur de second rang, responsable de la conception d'un des objets de la famille (une roue).
- 37 La méthode des rapports, avec la nouvelle rationalité qu'elle propage, propage aussi un nouveau modèle de l'action collective conceptive, avec de nouvelles puissances conceptives :
- Une puissance conceptive « de masse », qui conçoit à *partir des règles* qui lui sont données : les nouveaux 'techniciens' utilisateurs des méthodes, qui peuvent être plus nombreux, plus polyvalents, plus efficaces dans la conception de machines variées et adaptées
 - Une puissance conceptive « de pointe », qui conçoit *les règles* qui seront données aux précédents concepteurs : les enseignants des écoles techniques, qui mettent à jour les ouvrages, complètent les états de l'art, mettent au point les abaques en recensant les travaux scientifiques et techniques et en réalisant les expériences nécessaires. Mais on voit que cette seconde puissance conceptive ne sera pas réservée aux universités techniques puisque les élèves de Redtenbacher, loin d'être tous des enseignants dans les *Gewerbeschule*, vont aussi être des dirigeants de bureau d'études ou des dirigeants d'entreprises qu'ils doteront de bureaux d'études puissants.

- 38 Avec ce concepteur de règles et ce concepteur utilisateur de règles apparaît une division du travail qui préfigure celle du bureau d'études, qui fonctionne précisément grâce à la double capacité de contraindre certains concepteurs à (n') utiliser (que) les règles existantes et permettre à d'autres concepteurs de régulièrement mettre à jour (voire à niveau) le système de règles disponibles.
- 39 À ces deux acteurs concepteurs correspondent aussi des systèmes de formation originaux, avec une hiérarchie d'établissements éducatifs selon laquelle l'établissement au sommet (l'école polytechnique de Karlsruhe) conduit les travaux de recherche nécessaires au renouvellement et à la mise à jour régulière des systèmes de règles enseignés ailleurs.
- 40 Ainsi, associés à la méthode des rapports, apparaissent plusieurs acteurs : les bureaux d'études – et donc les futures entreprises à R&D et leur puissance générative remarquable – mais aussi le tissu des instituts de formation et de recherche qui viennent soutenir l'industrie en formant des « utilisateurs de règles » et en régénérant ces règles régulièrement.
- 41 À l'issue de cette analyse, on voit comment le développement d'une nouvelle souveraineté conceptive, le développement socio-économique du grand-duché de Bade notamment sous l'impulsion de Nebenius, a contribué au développement d'une nouvelle rationalité conceptive, la méthode des rapports et comment cette méthode elle-même a conduit à une nouvelle souveraineté conceptive fondée sur l'exploration performante de nouveaux inconnus, sur un patrimoine de création solide et sur une nouvelle division du travail de conception.

Le Bauhaus à Weimar : enseigner pour rendre les élèves plus créatifs, capables d'inventer « le style de leur époque »

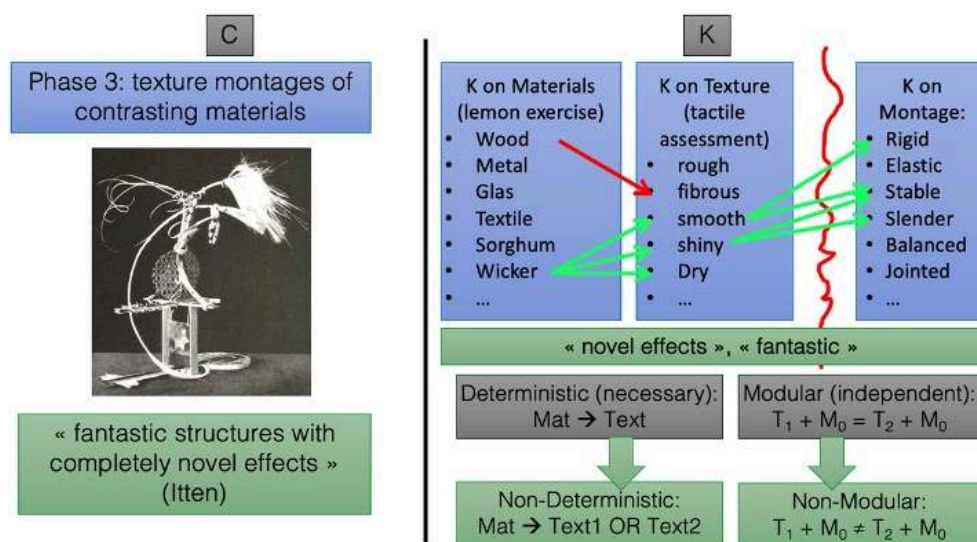
- 42 Voyons maintenant comment on peut observer ce même type de rapport entre nouvelle souveraineté conceptive et nouvelle rationalité conceptive, dans un contexte bien différent, celui du Bauhaus dans les années 1920, toujours en Allemagne, mais cette fois à Weimar.

Les cours introductifs du Bauhaus, une rationalité nouvelle de la création

- 43 Sur la base des travaux réalisés sur les cours introductifs du Bauhaus et leur interprétation grâce à la théorie C-K (Le Masson et al. 2016a), il apparaît que ces cours ont été l'occasion d'introduire une rationalité conceptive qui se voulait « plus créative ». De même que Redtenbacher s'écartait des modèles de son temps pour former à la conception, Itten, Klee ou Kandinsky qui assureront des cours « introductifs » au Bauhaus vont chercher à inventer un enseignement original, permettant de « libérer et renforcer l'imagination et la capacité créative » (Itten 1975) (première édition 1963). Les cours fonctionnent par grandes thématiques (par exemple, dans le cours d'Itten : les textures) et pour chaque thématique, des cours et des exercices dans lesquelles l'effort créatif augmente graduellement.

- 44 L'analyse des cours avec la théorie C-K met en évidence un phénomène remarquable : les enseignants des cours introductifs conduisent les étudiants à accumuler personnellement des savoirs et à les ordonner de telle façon que ces savoirs vont considérablement augmenter la puissance créative de l'étudiant.
- 45 Voyons comment fonctionne cette rationalité conceptive sur un exemple. Un des cours d'Itten porte sur les textures et les premiers exercices de ce cours ont consisté à acquérir progressivement un répertoire personnel de textures et à aider chacun à améliorer ses capacités tactiles. Bien que prévenus, les élèves sont régulièrement l'objet de phénomènes de fixation et, à ce stade, Itten sait que la fixation consiste d'une part à considérer que la texture n'est jamais qu'une enveloppe qui « décore » la forme et d'autre part la texture est directement liée au choix d'un matériau (« le bois donne une texture fibreuse »). Itten propose donc un nouvel exercice pour aider à surmonter ces fixations : « réaliser un montage qui soit fait uniquement de « textures » obtenues avec des matériaux contrastés ». L'exercice conduit les étudiants à surmonter les deux fixations précédentes : a) la forme ne précède plus la texture et c'est au contraire les textures qui créent la forme (la tige d'osier crée la forme élancée, l'aigrette crée une forme vaporeuse, etc.) ; b) la matière ne détermine plus la texture puisque les étudiants apprennent à utiliser une même matière pour obtenir des textures variées (l'osier peut servir à faire une tige souple et courbe ou bien être tressé en une surface plate et rigide).
- 46 La méthode mobilisée par Itten dans cet exercice peut être codée en théorie C-K. L'exercice « un montage de textures fait de matériaux contrastés » est posé en C et a pour effet une profonde restructuration de la base de connaissance dans laquelle les relations de type « déterministe » (une matière implique une texture) sont supprimées (une matière implique plusieurs textures différentes) et les relations de type « modulaires » (la forme est indépendante de la texture) sont remplacées par des relations non modulaire (la texture contribue à des formes variées). (Voir figure 4).

Fig.4. Analyse d'un exercice du cours introductif d'Itten avec la théorie C-K



En bleu : les connaissances initiales de l'étudiant, la flèche rouge indiquant une relation déterministe, le trait vertical sinueux une indépendance ; en vert : les résultats obtenus, qui créent des relations indiquées par les flèches vertes

Pascal Le Masson, Benoit Weil

- 47 Le travail peut être répété sur les exercices donnés par Itten, Klee ou Kandinsky – ce même motif intellectuel réapparaît : permettre aux étudiants de casser les déterminismes « A implique B » et de casser les modularités « A est indépendant de B » et ainsi se doter d'une base de connaissances sans déterminisme et sans modularité. Or les théories contemporaines de la conception ont pu montrer qu'une base de connaissance avec déterminisme et modularité avait en fait une capacité générative plus faible qu'une base de connaissance dans laquelle toute proposition A impliquait toujours plusieurs alternatives B, C, ... C'est la « *splitting condition* » : une base de connaissance est dite « *splitting* » lorsqu'elle est non-déterministe et non-modulaire et seule une base de connaissance « *splitting* » peut faire l'objet d'un forcing, i.e. d'une conception fortement créative (Hatchuel et al. 2013). On peut ainsi en conclure que les cours introductifs du Bauhaus développent une nouvelle rationalité qui permet une capacité générative augmentée pour les étudiants.

Origine et impact de cette nouvelle rationalité : inventer le style de son temps

À l'origine de la formation des designers au Bauhaus : une demande de développer des façons de former à la conception du « style de l'époque »

- 48 De même que les cours de Redtenbacher trouvaient une de leurs origines dans les réflexions de Nebenius sur un nouveau système de formation technique pour le progrès socio-économique du duché de Bade, de même les cours du Bauhaus trouvent une de leurs origines dans les débats autour de la formation des designers pour le développement socio-économique du Reich allemand.
- 49 À la fin du 19^e siècle l'Allemagne décide de profondément réformer ses enseignements d'arts appliqués, notamment suite à la critique sévère que fait Reuleaux des produits allemands, « *billig und schlecht* » (bon marché et mauvais) (Reuleaux 1877), dans son compte-rendu de l'exposition internationale de Philadelphie en 1876, compte-rendu destiné à l'administration du Reich. Ce souci commercial se double d'un souci social, puisque l'idée se développe d'utiliser les arts appliqués pour recréer une culture et une communauté dans une société bouleversée par les transformations de l'ère industrielle (Jaffee 2005). C'est d'ailleurs dans ce contexte qu'Hermann Muthesius (1861-1927) est envoyé en tant qu'attaché culturel et technique par l'administration du Reich à l'ambassade d'Allemagne à Londres pour étudier le mouvement Arts and Craft et le système éducatif anglais (1896-1903). Pour Jocelyn de Noblet, son travail peut s'assimiler à une sorte « d'espionnage industriel » (de Noblet and Bressy 1974). Muthesius revient en Allemagne avec l'enjeu de développer un système d'enseignement qui permette que les écoles d'art appliqués incarnent le style de leur époque. Il s'oppose violemment au style « historique » au profit d'une approche dite « *sachlich* », fonctionnelle (mais néanmoins pas fonctionnaliste selon (Schwartz 1996)). Il désapprouve aussi ce qu'est devenu le *Jugendstil*, cet art nouveau inventé notamment par des designers comme Riemerschmidt qui, à l'origine, dans les années 1890, semblait pouvoir être le style de l'époque mais que Muthesius, quelques années plus tard (dans son adresse de 1903), juge trahi et défiguré par l'effet de mode qui a conduit à ne garder du style que quelques attributs (la ligne « *whiplash* ») appliqués sans discernement et sans cohérence dans les contextes les plus hétéroclites.

- 50 Le débat autour du « style de l'époque » conduit à créer le Werkbund allemand, une association réunissant 500 personnes à sa création en 1907 (et 2000 en 1914) dont Hermann Muthesius, Peter Behrens (designer chez AEG), Henry Van de Velde, Richard Riemerschmid (designer), ou Werner Sombart, et plus généralement des intellectuels, des artistes (architectes et designers), des artisans et des industriels. Le Werkbund organise des conférences et des expositions, publie des ouvrages, contribue au financement d'un nouveau musée des arts appliqués et constitue un important forum de discussion avec une large audience culturelle, économique, sociale et politique. L'enjeu du Werkbund est de défendre ce « style de l'époque » aussi bien du point de vue politique et culturel que du point de vue industriel. Et c'est au sein du Werkbund que se travaille la question de savoir comment développer cette souveraineté conceptive associée au « style de son temps » : comment concevoir le style de l'Allemagne de l'époque ? Faut-il, comme le préconise Muthesius et Riemerschmid, aller vers une « *Typisierung* » i.e. la standardisation des produits protégés par copyright pour diffuser le nouveau style et éviter qu'il soit victime de la mode ? Ou bien faut-il, comme le défendent Van de Velde mais aussi le jeune Gropius, laisser la liberté aux artistes de concevoir leur propre style et plutôt renforcer leur capacité à inventer le style de leur temps ? Le débat culmine lors de l'exposition de 1914 à Cologne, où il conduit à l'éclatement du Werkbund, tout en ouvrant une question originale : comment former des professionnels pour qu'ils sachent concevoir le style de l'époque – concevoir ce style et pas seulement l'appliquer, bien sûr. Cette question est donc un enjeu de souveraineté conceptive et elle sera au cœur du Bauhaus, qui sera fondé par Gropius au sortir de la Première Guerre mondiale. Quelle formation pour assurer une forme de souveraineté conceptive, concevoir le style du temps ?

Impacts de la nouvelle rationalité conceptive : nouveaux savoirs, nouveaux inconnus, nouveaux acteurs

- 51 Évaluons maintenant la nouvelle rationalité enseignée par le Bauhaus à l'aune de cet enjeu de souveraineté conceptive.
- 52 Le modèle du Bauhaus s'est remarquablement diffusé. On ne parle pas tant de la diffusion de ses objets et de ses styles que de la diffusion de ses cours. L'aventure du Bauhaus est, on le sait, chaotique, de Weimar à Dessau, pour finir à Berlin où il est définitivement fermé par le régime nazi en 1933. Mais élèves et enseignants du Bauhaus vont rayonner sur la planète, créant à leur tour écoles et cursus, tels les Albers, Anni et Joseph, qui émigrent aux États-Unis et enseigneront pendant quinze ans au célèbre Black Mountain College, Joseph devenant en 1950 le directeur du *Department of Design* de l'université de Yale à New Haven jusqu'en 1959.
- 53 Comment cette diffusion se traduit-elle en termes de puissance générative et de souveraineté conceptive ? Suivant notre cadre analytique, nous caractérisons successivement : les inconnus spécifiquement explorés par les acteurs ayant suivi les formations ; les ressources de conception dont ils ont pu disposer ; les formes organisationnelles mobilisées dans l'action.

Une nouvelle rationalité qui permet l'exploration de nouveaux styles de l'époque

- 54 On peut constater que, tout comme Redtenbacher ne semblait pas aborder les « innovations » de son temps, les cours d'introduction du Bauhaus semblent ignorer les

nouvelles technologies du leur. Ainsi la photographie ou la typographie sont curieusement absentes des cours introductifs (mais pas du Bauhaus, toutefois – cf. Moholy-Nagy 1938).

- 55 Mais c'est que le Bauhaus se focalise sur des inconnus différents : les cours et les cursus du Bauhaus explorent ce que peuvent être les styles de l'époque ; et les objets comme les expositions du Bauhaus sont autant d'occasions de concevoir ces styles. La nouvelle rationalité développée dans le cours introductif vise à renforcer cette capacité d'exploration : faire que tout étudiant soit en mesure de créer un nouveau style, en combinant tous les éléments qu'il a acquis au cours de l'enseignement – couleurs, textures, matières, procédés, mouvement, mais aussi, plus généralement, usages, culture, histoire, connaissance de la société... Cette nouvelle rationalité vise à éviter les fixations, éviter les traits connus qui conduisent à des combinaisons artificielles qui ne font pas sens (le risque de la modularité) et éviter les apparentes évidences, les clichés qui font s'enchaîner ces fausses causalités que sont en fait les idées reçues, les clichés (le risque du déterminisme). Apprendre à élaborer des bases de connaissance respectant la *splitting condition*, c'est apprendre à créer un style, qui recoupe donc un grand nombre de savoirs, mais qui pourtant fait sens et cohérence, qui constitue un style unique intégré. On voit ainsi comment la rationalité conceptive inventée au Bauhaus rend possible une nouvelle souveraineté conceptive, la capacité à créer le style de son temps.

Une nouvelle rationalité qui organise la connaissance pour la conception et permet ainsi de constituer un nouveau patrimoine de création

- 56 Redtenbacher offrait aux concepteurs une base de connaissance préstructurée avec laquelle ils pouvaient concevoir en minimisant l'apprentissage. Les cours du Bauhaus ne fonctionnent pas du tout dans cette logique de transfert de savoir ; au contraire, les cours poussent régulièrement les étudiants à se constituer leur propre savoir sur chacun des sujets abordés (se constituer ses propres références de matière, de texture, de mouvement, ...). Mais si la logique de transfert est différente, il n'en reste pas moins que, dans les deux cas, *les étudiants se constituent progressivement un patrimoine de savoir*.
- 57 Et dans les deux cas, ce patrimoine de savoir est toujours *orienté vers la conception du nouveau*. Les étudiants du Bauhaus apprennent à structurer leur propre base de connaissances pour s'assurer d'éviter répétition et solutions simples. Le patrimoine de savoir est orienté vers la création. On retrouve ainsi dans le cas du Bauhaus un modèle de rationalité qui permet la constitution d'un patrimoine de création.
- 58 Enfin, on avait noté que le patrimoine de création associé au modèle de Redtenbacher ne permettait pas de tirer parti des apprentissages singuliers de chacun des concepteurs utilisant l'ouvrage de Redtenbacher. Dans le cas du Bauhaus au contraire, le patrimoine de création va pouvoir s'enrichir de chaque conception conduite par les étudiants, chaque conception conduisant à de nouvelles connaissances que l'étudiant a précisément appris à réutiliser. Le patrimoine de création associé au Bauhaus est donc par construction plus dynamique et plus évolutif que celui associé à la méthode de Redtenbacher. Il intègre la capacité d'apprentissage du designer. En cela, ce type de patrimoine est plus adapté à un monde où les connaissances évoluent à très grande vitesse et où les concepteurs ne sont pas seulement des utilisateurs de savoir mais aussi des créateurs de savoir.

Une nouvelle rationalité qui permet une division du travail de conception entre des puissances génératives variées

- 59 La rationalité conceptive développée par le Bauhaus conduit d'une part à une figure de designer particulièrement génératif : il peut acquérir du savoir dans les domaines les plus variés et les articuler entre eux en un style qui intègre l'époque tout en la réinventant.
- 60 La rationalité conceptive du Bauhaus conduit aussi à d'autres figures d'acteur génératif : la création de savoir peut exiger des essais, des apprentissages, une confrontation au « réel » dans les « ateliers de la matière » où l'on apprend à transformer la matière, on développe ses capacités d'observation, et tous ses sens. Une confrontation au passé aussi, à ses grands maîtres et à leurs œuvres. La création de savoir correspond donc à un acteur générateur de connaissances (mots, phénomènes, sensations...) et pas seulement créateur de style ou d'artefact. Un acteur générateur qui serait une sorte de « chercheur » de procédés de transformation, de travail de la matière. Avec le Bauhaus se met en place un jeu à (au moins) deux puissances génératives : une puissance générative d'artefacts (et de styles) et une puissance générative de savoirs nouveaux différents des artefacts et des styles et d'autant plus intéressants pour le designer qu'elle n'est précisément pas une puissance qui vise les mêmes objectifs que lui. On aurait donc là une forme de souveraineté conceptive conduisant à faire cohabiter des puissances génératives hétérogènes, travaillant avec des objectifs de générativité différents et pourtant en interaction féconde.
- 61 À l'issue de cette analyse, on voit ainsi comment, comme dans le cas de la méthode des rapports, le développement d'une nouvelle souveraineté conceptive (la conception des styles d'une époque) a contribué au développement d'une nouvelle rationalité conceptive (les cours introductifs du Bauhaus) et comment cette méthode elle-même a contribué à une nouvelle souveraineté conceptive fondée sur l'exploration performante de nouveaux inconnus, sur un patrimoine de création solide et sur une nouvelle division du travail de conception. On voit aussi comment les différences entre les deux rationalités conceptives, celle de Redtenbacher et celle du Bauhaus, conduisent aussi à des types de souveraineté conceptive différents.

Conclusion : comment une nouvelle rationalité conceptive peut contribuer à une nouvelle souveraineté conceptive ?

- 62 Nous avons ainsi étudié deux moments où une rationalité conceptive nouvelle se développe en écho à des transformations de la souveraineté conceptive. Nous avons pu voir comment, dans ces deux cas, cette rationalité conceptive avait pu contribuer à une nouvelle forme de souveraineté conceptive sur trois plans : la capacité à explorer des nouvelles formes d'inconnu ; la capacité à structurer de nouveaux patrimoines de création ; l'apparition de nouveaux acteurs concepteurs, de nouvelles puissances génératives coordonnées. Nous pouvons synthétiser ces résultats dans le tableau ci-dessous (fig.5).

Fig.5. Comment de nouvelles rationalités conceptives contribuent à de nouvelles souverainetés conceptives – comparaison du cas « méthodes des rapports » (Redtenbacher 1840s) et Bauhaus (1920)

		Nouvelle rationalité conceptive	
		Méthode des rapports, Redtenbacher (1840')	Cours du Bauhaus (1920')
Souveraineté conceptive	Types d'inconnus identifiés et rendus explorations (aspirations sociales)	Des machines pour une industrie en rattrapage, adaptées et variées, économisant les ressources – éviter la fixation par les machines passées	Explorer de nouveaux styles de l'époque, en résistant aux fixations (clichés, modularités et déterminismes paralysant la générativité)
	Construction d'un patrimoine de création servant de support à la conception collective	Etat de l'art aussi complet que possible, permettant au concepteur de concevoir une nouvelle machine en minimisant la production de connaissances supplémentaires	Le designer apprend à se constituer son propre état de l'art, en reconstituant pour lui-même le patrimoine pertinent pour son sujet (recherche personnelle, expérimentation personnelle)
	Acteurs concepteurs constituant la puissance générative	Une puissance conceptive stratifiée : un concepteur contraint à (n'utiliser (que) les règles existantes / un concepteur qui met à jour le système de règles.	Une double puissance générative : acteur générateur d'artefacts et de style vs acteur générateur de savoirs nouveaux (phénomènes, sensations, procédés,...)

Pascal Le Masson, Benoit Weil

63 Ce résultat conduit à formuler un ensemble d'hypothèses concernant le rapport entre souveraineté conceptive et rationalité conceptive :

1. Les travaux montrent que l'émergence d'une souveraineté conceptive est associée au développement d'un *langage commun, une nouvelle rationalité conceptive*, permettant d'agir collectivement dans une logique conceptive. Le développement de théories et de méthodes de conception semble donc un facteur important dans le développement de capacités de conception collectives nouvelles. Sur nos deux exemples, les nouvelles attentes en termes de souveraineté conceptive ont conduit à développer un langage nouveau de la conception, une rationalité conceptive, porté notamment par de nouveaux enseignements largement diffusés.
2. Les rationalités conceptives nouvelles apparaissent comme des façons de rendre plus praticables certains raisonnements dans l'inconnu, dont ils favorisent donc l'exploration. De sorte que les évolutions des rationalités conceptives au cours du développement industriel correspondent aussi aux évolutions des inconnus qu'une société (avec ses tensions, ses divergences, sa diversité...) aspire à explorer.
3. Pour explorer ces inconnus, la rationalité conceptive offre une logique *d'organisation du savoir* permettant sa réutilisation systématique au service de l'innovation et de la création - et une réutilisation qui ne le détruit pas mais au contraire le préserve et le renforce. Les puissances génératives ne sont pas construites sur une logique de destruction créatrice mais plutôt de création préservatrice, fondée sur ce qu'on peut appeler un « patrimoine de création ».
4. Les rationalités conceptives nouvelles conduisent aussi à l'émergence de nouveaux types d'acteurs (bureaux d'études, instituts de formation et de recherche, grande entreprise à R&D, écoles d'arts appliquées et de design, ...) qui conduisent l'exploration de l'inconnu, s'appuient sur les patrimoines de création constitués et aussi permettent le développement de ces mêmes patrimoines.

64 Ce premier éclairage du lien entre nouvelle souveraineté conceptive et nouvelle rationalité conceptive mériterait d'être complété. Ainsi les rationalités conceptives nouvelles ont probablement contribué au développement de nombreuses formes d'organisations originales contribuant à l'exploration de l'inconnu, notamment la structuration des professions et de leurs représentations organisées ou la structuration

d'organisations pour l'invention telles que le système de gestion de la propriété industrielle (voir le travail de Chipten Valibhay sur le brevet comme norme de gestion de l'invention, Valibhay 2021).

- 65 On a éclairé ici deux moments d'émergence de nouvelle rationalité conceptive – il en existe d'autres qui pourraient être analysées : l'émergence de la conception systématique en Allemagne dans les années 1960 par exemple, mais aussi le développement des rationalités conceptives de la science, notamment avec la structuration d'une recherche industrielle au début du 20^e siècle (Le Masson and Weil 2016).
- 66 En mettant en évidence l'émergence de nouvelles puissances génératives, de nouvelles formes d'organisation du savoir, de nouveaux inconnus, on voit aussi comment la création de nouvelles souverainetés conceptives n'est pas seulement une « hélice » qui relierait des acteurs stables - science, société, industrie, pouvoirs publics...- mais peut aussi se voir comme l'émergence d'acteurs nouveaux, avec leur puissance générative propre – émergence des bureaux d'études, de l'entreprise à R&D, émergence des universités techniques, des écoles de design, etc.
- 67 Il est tentant de prolonger l'analyse jusqu'aux questions contemporaines. Ces enjeux contemporains autour des transitions, des « grand challenges », des « objectifs de développement durables » semblent aujourd'hui incarner les nouveaux inconnus que nos sociétés ont à explorer – des nouveaux inconnus pour lesquelles il pourrait être nécessaire de développer une nouvelle souveraineté conceptive, i.e. de nouvelles capacités pour qu'une société puisse inventer son propre futur face à ces inconnus. La relation entre nouvelle souveraineté conceptive et nouvelle rationalité conceptive conduit à penser que les enjeux contemporains vont supposer de développer une nouvelle rationalité conceptive adaptée à l'exploration des inconnus contemporains. Elle devrait nous permettre aussi de penser les nouveaux patrimoines de création contemporains, ceux qui permettent de préserver les ressources, les modes de vie, les valeurs de nos sociétés, tout en supportant les inventions qu'appellent les transitions contemporaines de tous ordres ; elle devrait aussi permettre l'émergence de nouveaux acteurs concepteurs – plus seulement les techniciens efficaces et les experts concepteurs, plus seulement les designers créatifs et les chercheurs curieux mais peut-être aussi des citoyens concepteurs, des managers concepteurs, des dirigeants concepteurs, autant d'acteurs souvent caractérisés comme des décideurs mais que les transitions contemporaines appellent à devenir des concepteurs plus rigoureux et plus actifs de leurs propres espaces de décision. Le développement contemporain de la théorie de la conception, l'invention et le développement des nouvelles formes d'entreprises telles que les entreprises à mission (Segrestin & Levillain 2018) constituent déjà des prémices encourageants – les développer davantage appelle sans doute de nouveaux *Bauhaus*, des Bauhaus du 21^e siècle pour explorer les inconnus des transitions.

BIBLIOGRAPHIE

- AGHION Phillipe, HOWITT Peter, "A Model of Growth Through Creative Destruction", *Econometrica*, vol.60, n°2, 1992, p. 323-351; DOI: <https://doi.org/10.3386/w3223>
- AGOGUÉ Marine, *Modéliser l'effet des biais cognitifs sur les dynamiques industrielles : innovation orpheline et architecte de l'inconnu*, MINES ParisTech, Paris, 2012
- AGOGUÉ Marine, LE MASSON Pascal, Robinson Douglas, "Orphan Innovation, or when path-creation goes stale : missing entrepreneurs or missing innovation ?", *Technology Analysis & Strategic Management*, vol.24, n°6, 2012, p. 603-616 ; DOI: <https://doi.org/10.1080/09537325.2012.693672>
- AKRICH Madeleine, CALLON Michel, LATOUR Bruno, « A quoi tient le succès des innovations. 1 : L'art de l'intéressement ;2 : L'art de choisir les bons porte-parole », *Gérer et Comprendre, Annales des Mines*, n°11&12, 1988, p. 4-17 et 14-29
- CAMPBELL Joan, *The German Werkbund. The Politics of Reform in the Applied Arts*, Princeton University Press, Princeton, NJ, 1978
- CARAYANNIS Elias G., CAMPBELL David F.J., "'Mode 3' and 'Quadruple Helix': toward a 21st century fractal innovation ecosystem", *International Journal of Technology Management*, vol.46, n°3-4, 2009, p. 201-234; DOI: <https://doi.org/10.1504/IJTM.2009.023374>
- CARVAJAL PEREZ Daniel, *Gérer le Patrimoine de Création Dom Pérignon : Modéliser et organiser la transmission de connaissances pour la générativité*, PSL - MINES ParisTech, Paris, 2018
- CARVAJAL PEREZ Daniel, LE MASSON Pascal, WEIL Benoît, ARAUD Axelle, CHAPERON Vincent, "Creative heritage: Overcoming tensions between innovation and tradition in the luxury industry", *Creativity and Innovation Management*, vol.29 (S1), 2020, p. 140-151; DOI: <https://doi.org/10.1111/caim.12378>
- CRILLY Nathan, "Fixation and creativity in concept development: The attitudes and practices of expert designers", *Design Studies*, vol.38, 2015, p. 54-91; DOI: <https://doi.org/10.1016/j.destud.2015.01.002>
- DE NOBLET Jocelyn, BRESSY Catherine, *Design, introduction à l'histoire de l'évolution des formes industrielles de 1820 à aujourd'hui*, Collection Eugène Clarence Braun-Munk. Stock-Chêne, 1974
- DROSTE Magdalena, *Bauhaus 1919-1933*, Taschen, Köln, 2002
- DUFFY John Fitzgerlard, "Inventing Invention: A Case Study of Legal Innovation", *Texas Law Review*, vol.86, n°1, 2007
- ETZKOWITZ Henry, "The Triple Helix of University - Industry - Government: Implications for Policy and Evaluation", *Working paper. Institutet för studier av utbildning och forskning*, vol.11, n°29, 2002
- ETZKOWITZ Henry, LEYDESDORFF Loet, "The dynamics of innovation: from National Systems and 'mode 2' to Triple Helix of university-industry-government relations", *Research Policy*, vol.29, n°2, 2000, p. 109-123 ; DOI: [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(99\)00055-4](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(99)00055-4)
- FRIEDEWALD Boris, *Paul Klee, Life and Work*, Prestel, Munich, 2011
- FUCHS WP, "Die geschichtlich Gestalt Ferdinand Redtenbachers", *Zeitschrift für die Geschichte des Oberrheins*, vol.107, 1959, p. 205-222

- GALVAO Anderson, MASCARENHAS Carla, MARQUES Carla, FERREIRA Joao, RATTEN Vanessa, "Triple helix and its evolution: a systematic literature review", *Journal of Science and Technology Policy Management*, vol.10, n°3, 2019, p. 812-833 ; DOI: <https://doi.org/10.1108/JSTPM-10-2018-0103>
- GLASZEL Georg, ODZUCK Eva, STAPLES Ronald (eds), *Was heißt digitale Souveränität? Diskurse, Praktiken und Voraussetzungen » individueller « und » staatlicher Souveränität « im digitalen Zeitalter*, vol.3, Politik in der digitalen Gesellschaft. de Gruyter, 2022
- GRASHOF Franz, "Redtenbacher's Work zur wissenschaftlichen Ausbildung des Maschinenbaues" in BASSERMANN (ed), *Fest-Rede zur Enthüllungs-Feier des Denkmals Ferdinand Redtenbacher's*, 1866
- GROPIUS Walter, "The Theory and Organization of the Bauhaus", in BAYER Herbert, GROPIUS Walter, GROPIUS Ise (eds), *Bauhaus 1919-1928, exhibition catalog*, The Museum of Modern Art, New York, 1923, p.20
- GROPIUS Walter, *Neue Bauhauswerkstätten* (new edition: 1981), edn Florian Kepfenberg, Mainz / Berlin, 1925
- HATCHUEL Armand, LE MASSON Pascal, WEIL Benoît, CARVAJAL-PEREZ Daniel, "Innovative Design Within Tradition - Injecting Topos Structures", dans "C-K Theory to Model Culinary Creation Heritage (reviewers' favourite award)", *Proceedings of the Design Society: International Conference on Engineering Design*, vol.1, n°1, 2019, p. 1543-1552 ; DOI: <https://doi.org/10.1017/dsi.2019.160>
- HATCHUEL Armand, WEIL Benoît, LE MASSON Pascal, "Towards an ontology of design: lessons from C-K Design theory and Forcing", *Research in Engineering Design*, vol.24, n°2, 2013, p. 147-163 ; DOI: <https://doi.org/10.1007/s00163-012-0144-y>
- HEYMANN Matthias, *"Kunst" und Wissenschaft in der Technik des 20. Jahrhunderts. Zur Geschichte der Konstruktionswissenschaft*, Chronos Verlag, Zürich, 2005
- ITTEN Johannes, *The art of color*. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, 1961
- ITTEN Johannes, *Design and Form, the Basic Course at the Bauhaus and Later*, Revised edition (first edition 1963), edn. John Wiley and Sons, Inc., London, 1975
- JAFFEE Barbara, "Before the New Bauhaus: From Industrial Drawing to Art and Design Education", *Design Issues*, vol.21, n°1, 2005, p. 41-62 ; URL: <http://www.jstor.org/stable/25223979>
- JANSSON David G, SMITH Steven M, "Design Fixation", *Design Studies*, vol.12, n°1, 1991, p. 3-11 ; DOI: [https://doi.org/10.1016/0142-694X\(91\)90003-F](https://doi.org/10.1016/0142-694X(91)90003-F)
- KANDINSKY Wassily, *Cours du Bauhaus*, Traduit de l'allemand d'après des notes manuscrites par Suzanne et Jean Leppien edn. Denoël, Paris, 1929
- KELLER K (1910) "Zum Gedächtnis Redtenbachers", *Bayerisches Industrie- und Gewerbeblatt*, vol.96, n°36-37, 1910, p. 351-355 et 363-367
- KLEE Paul, *Beiträge zur bildnerischen Formlehre ('contribution to a pictorial theory of form', part of Klee 1921-2 lectures at the Bauhaus)*, Weimar, 1922
- KLEE Paul, *On modern Art*. Faber and Faber Limited, London, 1966
- KLEE Paul, *Cours du Bauhaus, Weimar 1921-1922. Contributions à la théorie de la forme picturale*. Hazan, Paris, 2005

- KONIG Wolfgang, *Künstler und Strichezieher. Konstruktions- und Technikkulturen im deutschen, britischen, amerikanischen und französischen Maschinenbau zwischen 1850 und 1930*, vol 1287, Suhrkamp Taschenbuch Wissenschaft. Suhrkamp Verlag, Frankfurt am Main, 1999
- KRETZSCHAMANN Emil, "Ferdinand Redtenbacher", *Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*, vol.9, 1865, p. 246-262
- LANDERS Amy, "Ordinary Creativity in Patent Law: the Artist within the Scientist", *Missouri Law Review*, vol.75, n°1, 2010, p. 1-75
- LE FUR Louis, *État fédéral et confédération d'états*, 1896
- LE MASSON Pascal, HATCHUEL Armand, WEIL Benoît, "The Interplay Between Creativity issues and Design Theories: a new perspective for Design Management Studies?", *Creativity and Innovation Management*, vol.20, n°4, 2011, p. 217-237 ; DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1467-8691.2011.00613.x>
- LE MASSON Pascal, HATCHUEL Armand, WEIL Benoît, "Design Theory at Bauhaus: teaching "splitting" knowledge", *Research in Engineering Design*, vol.27, n°2, 2016a, p. 91-115; DOI: <https://doi.org/10.1007/s00163-015-0206-z>
- LE MASSON Pascal, WEIL Benoît, « Aux sources de la R&D : genèse des théories de la conception réglée en Allemagne (1840-1960) », *Entreprises et histoire*, vol. 58, n°1, 2010a, p. 11-50 ; DOI: <https://doi.org/10.3917/eh.058.0011>
- LE MASSON Pascal, WEIL Benoît, « La conception innovante comme mode d'extension et de régénération de la conception réglée : les expériences oubliées aux origines des bureaux d'études », *Entreprises et histoire*, vol.58, n°1, 2010b, p. 51-73 ; DOI: <https://doi.org/10.3917/eh.058.0051>
- LE MASSON Pascal, WEIL Benoît, "Design theories as languages for the unknown: insights from the German roots of systematic design (1840-1960)", *Research in Engineering Design*, vol.24, n°2, 2013, p. 105-126; DOI: <https://doi.org/10.1007/s00163-012-0140-2>
- LE MASSON Pascal, WEIL Benoît, « Fayol, Guillaume, Chevenard - la Science, l'Industrie et l'exploration de l'inconnu : logique et gouvernance d'une recherche conceptive », *Entreprises et Histoire* vol.83, n°2, 2016, p. 79-107 ; DOI : <https://doi.org/10.3917/eh.083.0079>
- MATZ Klaus-Jürgen, "Nebenius, Carl Friedrich", *Neue Deutsche Biographie*, vol 19, Duncker & Humblot, Berlin, 1998, p. 16-18
- MOHOLY-NAGY Laszlo, *The New Vision: Fundamentals of Bauhaus Design, Painting, Sculpture, and Architecture*, Norton, New-York, 1938
- NEBENIUS Carl Friedrich, *Ueber technische lehranstalten in ihrem zusammenhange mit dem gesammten unterrichtswesen und mit besonderer rücksicht auf die polytechnische schule zu Karlsruhe*, Verlag der C.F., Muller'schen hofbuchhandlung, Karlsruhe, 1833
- PAHL Gerhard, BEITZ Wolfgang, *Konstruktionslehre (English title: engineering design)* (trans: Arnold Pomerans KW), Springer Verlag, English edition: The Design Council, Heidelberg, English edition: London, 1977
- PLANK Rudolf, "Fakultät für Maschinenwesen "die Abteilung für Maschinenbau"", *Die technische Hochschule Fridericiana Karlsruhe, Festschrift zur 125-Jahrfeier*, 1950, p. 222-226
- REDTENBACHER Ferdinand, *Theorie und Bau der Wasser-Räder*, 2^e édition (1^{re} édition 1846) edn. Bassermann, Mannheim, 1858

- REDTENBACHER Ferdinand, *Résultats scientifiques et pratiques destinés à la construction des machines*, Traduction française à partir de la quatrième édition allemande de l'ouvrage "Resultate für den Maschinenbau" (1848) edn. F. Bassermann (Mannheim), E. Lacroix (Paris), Mannheim, Paris, 1861
- REDTENBACHER Ferdinand, "Bericht über die Feier seines 100. Geburtstages an der Groosh. Technischen Hchschulen Fridericiana zu Karlsruhe", 26; Juni 1909, 1909
- REULEAUX Franz, *Briefe aus Philadelphia*, Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn, Braunschweig, 1877
- SCHNABEL Franz, "Die Anfänge des technischen Hochschulwesens, Karlsruhe", *Festschrift anlässlich des 100-jährigen Bestehens der TH Karlsruhe*. Karlsruhe, 1925
- SCHWARTZ Frédéric J., *The Werkbund, Design Theory and Mass Culture Before the First World War*, Yale University Press, New Haven and London, 1996
- SEGRESTIN Blanche, LEVILLAIN Kevin (eds), *La mission de l'entreprise responsable. Principes et normes de gestion*, Collection Économie et Gestion, Presses des Mines, Paris, 2018
- SHINN Terry, "The Triple Helix and New Production of knowledge: Prepackaged Thinking on Science and Technology", *Social Studies of Science*, vol.32, n°4, 2002, p. 599-614; DOI: <https://doi.org/10.1177/0306312702032004004>
- VALIBHAY Chipten, *Le brevet, norme de gestion de l'activité inventive. Nouveaux modèles pour penser une gestion des capacités inventives*, PSL, Paris, 2021
- VALIBHAY Chipten, LE MASSON Pascal, WEIL Benoît, Modèles et analyse de régimes d'invention dans le droit du brevet américain (1790-2007), *Entreprises et histoire*, vol.98, n°1, 2020, p. 42-77 ; DOI : <https://doi.org/10.3917/eh.098.0042>
- VON WEECH Friedrich, "Nebenius Carl Friedrich", *Allgemeine Deutsche Biographie* vol 23. Duncker & Humblot, Leipzig, 1886, p. 351-355
- WAUER Joerg, MOON Francis, MAUERSBERGER Klaus, "Ferdinand Redtenbacher (1809-1863): Pioneer in scientific machine engineering", *Mechanism and machine theory*, vol.44, n°9, 2009, p. 1607-1626; DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2009.05.007>
- WHITFORD Frank, *Bauhaus, world of art*, Thames & Hudson, London, 1984
- WICK Rainer K., *Teaching at the Bauhaus*, Hatje Cantz, 2000

NOTES

1. Cité par Fuchs : " wir auf dem Kontinent haben wir weder Geldkräfte noch diesen Umfang an Erfahrungen in der Ausführung aller Spezialitäten, um den rein empirischen Weg ausschliesslich verfolgen zu können, und sind daher gewungen, durch intelligente Kraft und wissenschaftliche Einheit das mangelnde Geld und die eingeschränkte Erfahrung zu ersetzen oder zu unterstützen" (traduction des auteurs). Ce texte est extrait de : « Die polytechnische Schule, in : Die Residenzstadt Karlsruhe, Festgabe zur 34. Versammlung deutsche Naturforscher u. Ärzte, Karlsruhe 1858, p. 125.
2. « Mit den prinzipien der Mechanik erfindet man keine Maschine, denn dazu gehört, nebst dem Erfindungstalen, eine genaue Kenntnis des mechanischen Prozesses, welchem die Maschine dienen soll; mit den Prinzipien der mechanik bringt an keinen Entwurf einer Maschine zustande, denn dazu gehört Zusammensetzungssinn, Anordnungssinn und Formensinn. Mit den Prinzipien der Mechanik kann man keine Maschine wirklich ausführen, denn dazu gehören praktische Kenntnisse der zu verarbeitenden Materialien und eine Gewandheit in der Handhabung der Werkzeuge und Behandlung der Hilfsmaschinen.

Mit den Prinzipien der Mechanik betreibt man kein industrielles Geschäft, denn dazu gehört eine charakterkräftige Persönlichkeit und gehören commerciale Geschäftskennntnisse ».

3. Redtenbacher, 1858, op. cité.

4. cité par Henderson, 1968, op. cité.

5. C'est un mouvement général dans les états allemands, comme le note König. Les Länder entreprennent avant et après les guerres napoléoniennes de lancer l'industrialisation associée à la révolution anglaise. Les Länder allemands ne sont pas à proprement parler des pays « sous-développés » : au 18^{ème} siècle ils constituent une réelle puissance industrielle. Mais les dirigeants considèrent que leurs états prennent du retard dans les « nouvelles technologies », i.e. celles de la révolution industrielle anglaise. Ils organisent des voyages d'information, encouragent les séjours longs en Grande Bretagne, achètent des machines anglaises qu'ils présentent dans des expositions ou des Musterbetrieb (des entreprises-modèles), ils soutiennent les Gewerbevereine (associations industrielles) qui organisent des congrès ou des journaux sur les dernières techniques de Grande Bretagne. Dans ces années apparaissent de nouvelles écoles techniques : Prague 1806, Vienne 1815, Berlin 1821, Karlsruhe, 1825, Munich 1827, Dresde 1828, Stuttgart 1829, Hannover 1831, Braunschweig 1835, Darmstadt 1836. Dans une seconde période seront créées les écoles d'Aix la Chapelle 1870, Danzig 1904 et Breslau 1910.

6. König op. cité, p. 24

RÉSUMÉS

Il est largement reconnu que le développement industriel et la souveraineté qui lui est associé tiennent aux innovations et à un triptyque science-industrie-société qui y contribue. C'est plus récemment que les travaux ont permis de mieux comprendre les ressorts qui ont conduit au développement de nouvelles puissances génératives. La communication présente trois aspects critiques pour le développement et les évolutions de ces puissances génératives. 1) Les travaux ont montré que l'émergence de ces puissances génératives était associée au développement d'un langage commun (à savoir des formes variées de théorie de la conception et de méthodes associées) permettant d'agir collectivement dans une logique conceptive. On montrera comment le développement de théories et de méthodes de conception a pu être un facteur important dans le développement de capacités de conception collectives. Notamment on reviendra sur quelques cas focaux connus : le développement de l'enseignement de *Konstruktionslehre* dans les Écoles techniques allemandes en lien avec le développement industriel allemand mi-19^e et le développement du *Werkbund* et du Bauhaus au début du 20^e siècle : deux exemples où se développent simultanément un langage nouveau de la conception, de nouveaux enseignements, un lien université-industrie et une nouvelle puissance générative liant industrie, science et société. 2) Le développement de cette puissance générative a reposé sur une logique d'organisation du savoir permettant sa réutilisation systématique au service de l'innovation et de la création - et une réutilisation qui ne le détruit pas mais au contraire le préserve et le renforce. Ces puissances génératives ne sont pas construites sur une logique de destruction créatrice mais plutôt de création préservatrice, fondée sur ce qu'on peut appeler un « patrimoine de création ». On montrera comment les théories de la conception ont permis le développement de ces patrimoines, avec leur variété, leurs capacités plus ou importantes de création préservatrice, et la variété des acteurs nécessaires à leur développement (entreprises mais aussi système des brevets, écoles, associations professionnelles, collègues...). 3) En suivant cette perspective, il est intéressant

d'étudier les évolutions de ces langages de conception, soubassement aux puissances génératives historiques. Ces langages sont apparus comme des façons de domestiquer le raisonnement dans l'inconnu - de sorte que leurs évolutions au cours du développement industriel correspondent aussi aux évolutions des inconnus que les sociétés avaient à explorer, et dont ils peuvent ainsi être des traceurs. Ces trois pistes conduisent aux propositions suivantes : 1) la souveraineté tient aux inconnus que les écosystèmes industriels sont capables d'explorer ; 2) elle tient donc aux puissances génératives dont ces écosystèmes se sont dotés - autrement dit : la puissance générative qui fait la souveraineté tient aux capacités à penser collectivement les inconnus de son temps.

It is widely recognized that industrial development and the sovereignty associated with it is due to innovations and to a science-industry-society triptych that contributes to it. It is more recently that work has allowed for a better understanding of the forces that have led to the development of new generative powers. The paper presents three critical aspects for the development and evolution of these generative powers. 1) The work has shown that the emergence of these generative powers was associated with the development of a common language (i.e., various forms of design theory and associated methods) allowing to act collectively in a design logic. We will show how the development of design theories and methods could be an important factor in the development of collective design capacities. We will return to some well-known focal cases: the development of the teaching of *Konstruktionslehre* in German technical schools in connection with German industrial development in the mid-19th century and the development of the *Werkbund* and the *Bauhaus* at the beginning of the 20th century: two examples where a new language of design, new teaching, a university-industry link and a new generative power linking industry, science and society were developed simultaneously. 2) The development of this generative power has been based on a logic of organization of knowledge allowing its systematic reuse in the service of innovation and creation - and a reuse that does not destroy it but on the contrary preserves and reinforces it. These generative powers are not built on a logic of creative destruction but rather of preserving creation, based on what we can call a "creative heritage". We will show how design theories have allowed the development of these heritages, with their variety, their more or less important capacities of preserving creation, and the variety of actors necessary to their development (companies but also the patent system, schools, professional associations, colleges...). 3) Following this perspective, it is interesting to study the evolution of these design languages, the basis of historical generative powers. These languages appeared as ways of domesticating reasoning in the unknown - so that their evolutions during industrial development also correspond to the evolutions of the unknowns that societies had to explore, and of which they can thus be tracers. These three lines of inquiry lead to the following propositions: 1) sovereignty is based on the unknowns that industrial ecosystems can explore; 2) it is therefore based on the generative powers that these ecosystems have endowed themselves with - in other words, the generative power that makes up sovereignty is based on the capacities to think collectively about the unknowns of our time.

INDEX

Mots-clés : histoire des techniques, conception, langage de conception, innovation, patrimoine de création, inconnu, industrie, enseignement technique

Keywords : history of technology, design, design language, innovation, creative heritage, unknown, industry, technical education

AUTEURS

BENOIT WEIL

Pascal Le Masson et Benoit Weil sont responsables de la chaire Théories et Méthodes de la Conception Innovante. Leurs recherches portent sur les théories de la conception, la modélisation des raisonnements génératifs, ainsi que les formes d'organisation, de gestion et de pilotage adaptées à l'exploration de l'inconnu. Ils ont publié une centaine d'articles. L'ouvrage Pascal Le Masson, Benoit Weil, Armand Hatchuel. Design Theory - Methods and Organization for Innovation. 2017, 978-3-319-50276-2. (10.1007/978-3-319-50277-9). (hal-01481877) présente une synthèse de leurs travaux sur la conception.