



L'innovation, moteur de la construction navale

Alain Bovis

Directeur de DCNS Research

La notion d'innovation recouvre aujourd'hui un ensemble très vaste de concepts qui dépasse largement le domaine technique. On parle ainsi d'innovation financière, d'innovation sociale, d'innovation sociétale, d'innovation dans les modes de management ou dans les organisations. Elle fait même l'objet d'un document lexicologique de l'OCDE, le guide d'Oslo. Dans un monde de compétition accélérée, l'innovation par elle-même est devenue un argument commercial.

Mais qu'est-ce que l'innovation ? La définition la plus simple est celle d'une idée nouvelle concrétisée et mise en application. Elle se distingue donc de l'invention, l'idée, en ce qu'elle a subi un cycle de mutation ou maturation qui l'a rendue réalisable et utile, c'est-à-dire apportant une véritable valeur supplémentaire dans un domaine donné. On ne retient en outre que les innovations qui ont connu le succès, c'est-à-dire celles qui ont été appropriées par le marché ou la population auxquels elles étaient destinées.

Pour la construction navale comme pour l'ensemble des autres secteurs de l'industrie nationale, l'innovation est le principal moteur de la compétitivité - qu'elle soit militaire, on parle alors de façon plus pertinente de supériorité - ou commerciale.

L'innovation en construction navale

Si on s'en tient au navire comme produit et que l'on considère l'innovation dans une perspective historique, force est de constater que les innovations ont été plutôt rares et espacées. Jusqu'à la fin du XVIII^e siècle en effet, la conception des navires a été essentiellement guidée par la reconduite de règles éprouvées par l'expérience.

Mais si elle a été historiquement la plus ancienne industrie, la construction navale est aussi la première activité humaine à être passée du stade d'artisanat empirique et héréditaire à celui d'industrie fondée sur des concepts et des outils scientifiques. Cette révolution industrielle a eu lieu au début du XVIII^e siècle, en France. Soutenue par une forte volonté politique de compenser par la supériorité technologique l'infériorité numérique face à la flotte anglaise, elle fut marquée par une innovation systémique : technique – la naissance de la théorie scientifique du navire – dans la formation – la création de la première école d'ingénieurs en France – en matière d'organisation industrielle avec la création du corps du Génie maritime et l'imposition des plans-types de navires.

Pour la construction navale, le XIX^e siècle a réellement été un siècle d'innovation technique, le transport maritime n'ayant d'ailleurs durant cette période aucun concurrent technologique, ni terrestre ni aéronautique. La France et la Grande Bretagne se sont livrées en l'occurrence une course technologique en même temps que politique. La soif de progrès technique de ce siècle s'est exprimée de différentes manières : scientifique avec le développement à la fin du siècle des bassins de carènes ou les nombreux travaux théoriques qui ont jeté les prémices des modélisations futures. Plusieurs inventions sont devenues des innovations, souvent après de nombreuses décennies : la machine à vapeur, inventée dès le XVII^e siècle et introduite dans la marine au début du XIX^e siècle ; imaginée par Bernoulli et Paucton dans les années 1750, l'hélice propulsive fit l'objet de nombreuses tentatives d'application en France et en Angleterre à partir de 1820, avant d'être définitivement adoptée vers la fin des années 1840 ; apparu en 1893, le moteur Diesel vit ses premières applications navales avec le sous-marin au début du XX^e siècle. Autant dire que ces innovations majeures de la construction navale, que l'on peut qualifier de ruptures, ne furent pas instantanées.

L'un de nos plus grands ingénieurs navals, Dupuy de Lôme, qui fit passer la flotte française du bois et de la voile au fer et la vapeur, ne fut pas un inventeur. En revanche, il fut un innovateur de génie en appliquant à sa discipline, avec pertinence et succès, des techniques et des technologies existantes. Grâce à lui la marine française, la première, alignait en 1863 une escadre cuirassée.

La guerre de Sécession américaine fut un laboratoire d'idées nouvelles en matière navale, avec les canonnières de type *Monitor* et *Merrimack* et diverses tentatives de sous-marins. Si ces expériences ne peuvent être qualifiées d'innovations car sans suites immédiates, elles s'inscrivent dans une période de foisonnement technique stimulé par le conflit, que l'on retrouvera durant la seconde guerre mondiale.

Chercheur, ingénieur et organisateur, Louis-Emile Bertin porta l'innovation dans tous les domaines : hydrodynamicien, il fut le créateur du Bassin d'Essais des carènes de Paris ; inventeur, il introduisit le compartimentage cellulaire qui devait révolutionner l'architecture de tous les navires marchands et militaires ; organisateur, il construisit la marine impériale japonaise qui écrasa les escadres chinoise à Yalu en 1894 puis la flotte russe à la bataille de Tsushima en 1905 ; ingénieur, directeur de la section technique des constructions navales qu'il créa, il supervisa la construction de l'importante flotte de cuirassés français.



Préparée par Dupuy de Lôme et soutenue par Bertin, la grande innovation navale française du tournant du XX^e siècle fut le sous-marin, grâce à la combinaison de technologies novatrices : la tenue d'immersion par barres de plongées mise au point grâce au Gymnote, et le moteur électrique associé rapidement au moteur Diesel. L'architecture conçue par Laubeuf inspira immédiatement les concepteurs allemands et italiens, tandis qu'Holland suivait aux Etats-Unis une voie parallèle.



D.R.

Henri Dupuy de Lôme

la classe Rubis. Héritière des découvertes de Paul Langevin et de Jean Perrin, la détection sous-marine a également été un domaine d'excellence de la technologie française, largement exportée sur tous les continents.

Au début des années 1980 la guerre des Malouines dévoila la vulnérabilité des navires de combat face au missile. Dès lors l'armement du bâtiment de guerre devait évoluer rapidement, le missile anti-aérien répondre au missile antinavire et la « cybernétique navale » utiliser la croissance exponentielle des capacités informatiques pour guider les armes vers des cibles de plus en plus nombreuses et de plus en plus rapides. Dans ces domaines, les capacités de l'industrie française, aujourd'hui largement européenne, se sont construites et maintenues au plus haut niveau technologique avec des réalisations aussi remarquables que le système de direction de combat SENIT¹ du porte-avions *Charles de Gaulle*, ou le système PAAMS² des frégates Horizon, ou encore les familles de missiles Exocet et Aster.

Les navires aussi ont du évoluer. L'escorte de groupes aéronavals demandant des vitesses élevées, les turbines à gaz issues de l'aéronautique vinrent remplacer les propulsions à vapeur trop lourdes, peu flexibles et d'entretien difficile. Les turbines Rolls-Royce Olympus développées pour le *Concorde* furent ainsi adaptées pour propulser les frégates F70 ASM. Dans le combat éternel entre l'arme et la cuirasse, la cuirasse fut remplacée par la furtivité, c'est-à-dire la qualité d'échapper aux

1. NDLR : Le système d'exploitation navale des informations tactiques ou SENIT est un système informatique de traitement de données développé par et pour la Marine nationale.

2. NDLR : Le système PAAMS (principal anti-air missile system) constitue l'armement principal des frégates anti-aériennes Horizon, réalisées en coopération franco-italienne)

détections radar ou infrarouge. La furtivité se fonde sur l'application de formes de superstructures et de technologies de masquage, mises en œuvre pour la première fois sur les frégates de type La Fayette.

Dans le domaine des sous-marins, la recherche du silence a conduit dans les années 1970-1980 à un programme de recherche sans précédent depuis la guerre, la discrétion acoustique s'étant avérée comme la brique de base de la supériorité tactique en matière de lutte sous la mer. De nouvelles règles de conception des formes extérieures, de l'aménagement intérieur, de nouvelles technologies de suspension et de masquage, un nouveau type de propulseur, furent entre autres les résultats de ces recherches. Plus que jamais, l'innovation a été issue de la Recherche et développement (R&D), certaines technologies ayant d'ailleurs été abandonnées en route faute d'une maturation suffisante.

Le dernier quart du siècle a également vu se généraliser une innovation radicale en matière de technique de construction navale avec la construction par blocs, anneaux ou sections pré-équipés, qui a permis d'augmenter significativement la productivité, la qualité et la sécurité des travaux de construction.

Enfin, à la charnière du nouveau siècle est apparu le missile de croisière naval, coïncidant avec le développement de nouvelles stratégies de guerres dites asymétriques et de combat littoral. L'architecture navale du début du XXI^e siècle a évolué dans ce contexte.

La perspective historique nous montre donc que l'innovation dans le domaine naval est le résultat d'efforts continus de recherche et développement. C'est la hauteur de cet effort qui a défini la capacité de notre industrie à innover et, en conséquence, garanti la supériorité de nos navires. Les exemples sont nombreux où des inventions immatures, introduites trop précocement dans un programme se sont traduites par des impasses. Ces échecs ont alors retardé de plusieurs années voire de plusieurs décennies des progrès pourtant à portée de main. Dans un domaine où les exigences de sécurité face à l'hostilité de l'environnement et à la difficulté du travail en mer conduisent à une certaine prudence, voire à un certain conformisme (l'exigence du *sea proven*), c'est la crédibilité de l'effort de





R&D et la capacité de synthèse architecturale plus que l'effet de rupture qui fondent la pertinence de l'innovation technologique.

Les défis technologiques d'aujourd'hui

Si les réalisations navales les plus récentes (BPC³ *Mistral*, frégates multi-missions FREMM⁴, sous-marins *Scorpène* ou *Barracuda*, patrouilleur *l'Adroit*) intègrent le progrès technologique au niveau de leurs systèmes et équipements (radars multifonctions, mâts optroniques, missiles de croisière, systèmes de stabilisation ou de barres), elles se distinguent plus particulièrement par le caractère innovant de leurs architectures. On retiendra l'utilisation extensive des normes civiles et la propulsion tout électrique à *pods* pour le *Mistral* ; le système de propulsion hybride des frégates FREMM et du sous-marin *Barracuda*, contribuant à de nouveaux progrès en matière de furtivité ; l'architecture dédiée aux fonctions de surveillance et à l'utilisation de drones navals pour *l'Adroit*. Plus diffus mais non moins importants, l'automatisation croissante de la conduite des installations et le développement de nouveaux logiciels d'aide à la décision, fondés sur des mathématiques de haut niveau, ont permis au fil des dernières décennies de réduire significativement les équipages tout en augmentant considérablement les capacités opérationnelles des forces navales.

Fortement marquée par les crises du transport maritime des années 1980 et 2000 et par la concurrence industrielle des chantiers asiatiques, la construction navale civile ne doit sa survie qu'à son excellence dans quelques domaines de haute technologie fortement exportateurs. Ainsi, le fort savoir-faire de construction de paquebots développé tout au long du XX^e siècle a connu un renouveau à partir des années 80-90 grâce au développement rapide de la croisière. Dans ce domaine, l'industrie française concentrée aujourd'hui à Saint Nazaire a su relever les défis du gigantisme, du confort et de la complexité grâce à l'innovation. Citons par exemple les systèmes de propulsion avec l'introduction de propulseurs en nacelle ou *pods* silencieux, flexibles et économes, ou encore le développement de turbines à gaz avec récupération de chaleur (cogénération). Dans un autre domaine, s'il n'est plus aujourd'hui de méthaniers construits en France, la technologie française de membranes cryogéniques pour leurs cuves couvre plus de 80 % du marché mondial.

Les perspectives futures en matière de navires sont dessinées à la fois par l'évolution prévisible des besoins et par les promesses des nouvelles technologies, les deux visions s'alimentant d'ailleurs réciproquement dans le processus de recherche et développement.

L'évolution des besoins s'exprime à la fois en termes opérationnels - l'évolution des capacités - et en termes économiques - la réduction des coûts. La réponse se doit donc d'être à la fois technologique et industrielle.

Dans le cadre du Conseil d'orientation de la recherche et de l'innovation des constructions et activités navales (CORICAN), l'ensemble des professionnels de

3. NDLR : Bâtiment de projection et de commandement

4. NDLR : Frégates multi-missions

la construction navale, civile et militaire, a identifié les grands défis d'avenir. De la réponse à ces défis issus de l'évolution réglementaire autant que de nouvelles exigences sociétales, dépend largement l'avenir de nos industries navales. Quatre grands programmes ont ainsi été définis : la maîtrise de l'énergie, le respect de l'environnement, l'amélioration de la sécurité, l'automatisation. Chacun fait l'objet d'une feuille de route de R&D qui décline les différents progrès à rechercher. Ainsi pour la maîtrise énergétique, il apparaît nécessaire de progresser : sur l'optimisation des formes de carènes par tout état de mer ; sur les revêtements de carène en lien avec les nouvelles réglementations sur les polluants ; sur l'allègement des structures avec l'emploi étendu de matériaux composites ; sur les sources d'énergie (gaz liquéfié, piles à combustible) ; sur l'architecture des réseaux et l'exploitation de la supra-conductivité.

Le champ nouveau de l'exploitation de l'énergie des mers (énergies marines renouvelables ou EMR) représente un débouché industriel potentiel majeur pour les industries navales. La R&D dans ce domaine porte à la fois sur les concepts - il existe aujourd'hui plusieurs dizaines de concepts différents de récupération de l'énergie des vagues - et sur les technologies ou les processus d'exploitation. La récupération de l'énergie de la houle, de l'énergie solaire ou de l'énergie éolienne, peut également être envisagée comme source d'énergie auxiliaire pour les navires.

L'exploitation et la transformation *in situ* des autres immenses ressources marines, hydrocarbures, minerais, ressources halieutiques, notamment à grande profondeur, pousseront inéluctablement l'industrie vers une nouvelle frontière, au même titre que la conquête de l'espace. Les moyens doivent y être consacrés pour bénéficier de la tradition d'excellence française dans ces domaines, que ce soit en matière de conception de grandes installations *offshore* posées ou ancrées, ou d'exploration sous-marine. De nombreux concepts novateurs d'île artificielle, usine flottante ou centrale nucléaire immergée (projet Flexblue[®] de DCNS) émergent ici et là. Deviendront-ils des « innovations » ?

En matière militaire, des progrès significatifs voire des ruptures sont également attendus dans différents domaines, dont celui de la maîtrise des signatures, la « furtivité dynamique » ou le masquage contrôlé dans le temps des émissions et des échos, une sorte de « cape d'invisibilité d'Harry Potter » ; ou encore du traitement de l'information, avec des puissances d'analyse toujours accrues, les « *big data* », et la coopération multiplateformes. L'utilisation de drones et leur intégration au système de forces multipliera l'allonge du navire tout en préservant l'homme des tâches les plus dangereuses ou routinières.

Les armes elles-mêmes sont appelées à changer avec le développement en cours d'une artillerie électromagnétique ou à laser. Des armements à létalité progressive seront également à mettre en œuvre dans les missions d'interdiction ou de combat asymétrique.

L'intégration toujours plus grande entre hommes et automatismes au sein de ces systèmes sociotechniques complexes que sont les bâtiments de combat, nécessite de mieux comprendre le comportement des opérateurs, notamment en situation de stress. Dans un monde où l'informatisation et les technologies de l'information



progressent quotidiennement, il faut imaginer des systèmes d'exploitation dont les futurs opérateurs, pour la majorité, ne sont pas encore nés et évolueront dans un environnement éducatif et culturel différent de celui d'aujourd'hui.

Les défis organisationnels

Les systèmes navals ont de tout temps fait partie des systèmes les plus complexes conçus par l'homme. La complexité a atteint aujourd'hui un niveau tel - près de 150 000 exigences fonctionnelles et plus d'un million de composants pour un navire à propulsion nucléaire - que le mode de conception même doit évoluer, dans un contexte où les enjeux économiques (la maîtrise des risques, la réduction des coûts et des délais) deviennent déterminants. Conception assistée par ordinateur, simulation numérique et réalité virtuelle sont aujourd'hui les outils de l'équipe d'architecture. Le « bassin numérique » remplace progressivement le bassin de carènes ; la maquette numérique permet le travail simultané des différentes spécialités ; la réalité virtuelle permet aux emménageurs en liaison directe avec le client et l'exploitant, de « vivre » le navire avant le début de sa construction. De séquentielle et itérative, processus long et coûteux, la conception devient collaborative et concurrente. Cela nécessite de développer encore les moyens numériques de simulation (le « navire virtuel »), de communication et partage de données, d'optimisation multi-objectifs.

Les modes de construction sont également appelés à évoluer fortement. L'augmentation de la productivité, la réduction du taux de reprise, l'amélioration de la sécurité du travail demandent d'inventer de nouveaux processus.

Le chantier naval du futur sera économe, avec un recours développé aux énergies renouvelables. Il sera plus propre, en réduisant sa consommation de matières grâce à l'allègement des structures, en diminuant les quantités nécessaires de produits d'apport pour les assemblages et les revêtements, et en recyclant ses propres sous-produits et déchets. Il sera plus sûr, en automatisant et en déportant sur terre-plein ou en atelier toutes les opérations difficiles à réaliser à bord.

Le chantier naval du futur sera « numérisé », c'est-à-dire qu'il fera appel à toute la puissance des moyens informatiques pour préparer les opérations en simulant les procédés et en utilisant la réalité virtuelle pour entraîner les opérateurs. Le chantier naval du futur sera « informé et étendu » et permettra à chaque opérateur, personnel interne ou coopérant, d'accéder à la connaissance instantanée *in situ* de l'état de la production. La réalité augmentée permettra à l'opérateur de contrôler en temps réel la position et les paramètres de son outil.

Des évolutions aussi radicales des modes de production ne pourront aboutir que si le personnel y adhère et se les approprie. Cela passe par un effort radical de formation, initiale et continue, à ces nouvelles technologies et ces nouveaux processus. Des initiatives sont d'ores et déjà lancées, tel le Campus Naval France suscité par le Comité Stratégique de la filière navale, ou le centre de formation par alternance aux technologies avancées de production proposé par l'Institut de Recherche Technologique (IRT) Jules Verne.

Mais l'innovation n'est pas seulement un résultat ; elle est aussi un processus. On distingue ainsi différentes démarches destinées à « produire » de l'innovation : ouverte, participative, frugale, incrémentale, évolutive...

L'innovation n'est plus un acte isolé. Il s'agit moins d'inventer en effet que de déceler les bonnes idées, de les valider, d'en évaluer les risques, de les faire mûrir et enfin de les appliquer. Cette « traversée du désert », ce long cheminement entre idée et application, nécessite d'importants efforts de recherche technologique et d'industrialisation qu'il y a tout intérêt à mutualiser, techniquement et financièrement, entre laboratoires académiques, PME et industriels, entre filières industrielles différentes confrontées à des défis voisins, entre maître d'œuvre et ses coopérants.

Si personne, aucun organisme, ne peut prétendre à l'exclusivité de l'innovation, elle n'est pas non plus garantie, singulièrement dans une industrie fortement marquée par l'application de processus et de référentiels rigides. Il est donc aussi nécessaire d'intégrer l'esprit d'innovation (le « *out of the box* ») dans ces méthodes, et particulièrement dans le processus de R&D. Depuis une dizaine d'années, de nombreux chercheurs se sont penchés sur cette question, donnant naissance à de nouveaux modes de création collective tels le *Design Thinking* ou la méthode DKCP. Réduire le délai entre les nouvelles opportunités offertes par la technologie et la mise sur le marché de produits nouveaux est un défi collectif qui doit mobiliser toutes les forces de l'entreprise.

Depuis près de trois siècles, la construction navale a fait la preuve de sa capacité à se réinventer en maîtrisant les systèmes sociotechniques les plus complexes. Elle a aujourd'hui la possibilité d'un nouveau bond dans l'avenir grâce à l'explosion des opportunités technologiques : nouveaux matériaux, nouvelles sources d'énergie, puissance des moyens de calcul, technologies de l'information. L'intérêt croissant pour l'exploitation raisonnée et la protection des ressources marines, créent les conditions de ce rebond. De nombreuses initiatives publiques, le Grenelle de la Mer, la création du CORICAN, le Programme d'Investissements d'Avenir, la Nouvelle France Industrielle, les nombreux appels à projets lancés par les autorités nationales et européenne, soutiennent l'ambition de faire de cette industrie un nouveau fleuron. Le défi mérite d'être relevé.