

Image de couverture créée sur <https://wordart.com/>

SOMMAIRE

Sommaire	3
Résumé	4
Avertissement	6
Introduction	7
1. La digitalisation des entreprises.	9
1.1. La donnée : l'or noir du XXIe siècle.	9
1.2. La culture digitale : une nécessité.	22
1.3. La conduite de la transformation.	26
2. La numérisation du commandement des engagements opérationnels interarmées.	35
2.1. La numérisation du C2, solution à sa complexité ?	36
2.2. Les limites de la numérisation.	45
2.3. La transformation numérique du C2.	56
Conclusion.....	64
Bibliographie	66
Annexe I : Définitions	74
Annexe II : Parallèle entre le monde de l'entreprise et le C2.....	80
Annexe III : Notes des entretiens réalisés	81
NUMA (Thomas Lacquemant, 06 novembre 2017)	81
THALES (Ina Maller, CEO office, 06 novembre 2017).....	82
LOUIS VUITTON (15/11/2017)	83
SAFRAN (François de Lafontaine, directeur usine du futur, 20/11/2017).....	85
AIR FRANCE INDUSTRIES (P. Peureux, directeur Innovation & Projet, 12/12/2017) ...	87
ENEDIS (Emmanuel JEAN, directeur adjoint au programme numérique, 23/03/2018).....	89

RESUME

Les progrès des technologies du numérique amènent les entreprises à conduire leur transformation digitale. Parce que, au-delà de la simple maîtrise de nouveaux outils, ces technologies bouleversent en profondeur l'organisation et les procédures, la culture même des entreprises s'en trouve modifiée. La plupart des dirigeants ont pris en compte la nécessité pour le leadership de s'investir dans cette transformation, pour anticiper et optimiser l'emploi de ces technologies.

Parce qu'elles rendent possible l'écrasement des distances et du temps en facilitant le partage et le stockage des informations, le bon usage de ces technologies numériques pourrait être un facteur de supériorité opérationnel pour le commandement des opérations : elles permettent de mieux comprendre la situation et d'accélérer le cycle décisionnel. Les débuts de la numérisation, il y a une vingtaine d'années, se sont effectués de façon non coordonnée entre les armées et services et la transformation numérique du commandement des opérations devrait redonner de la cohérence aux systèmes de commandement. Cette transformation numérique, à l'image de celle des entreprises, nécessite une transformation capacitaire du commandement : doctrine, organisation, ressources humaines et entraînement, équipements et soutien.

ABSTRACT

Advances in digital technologies are driving corporations to advance their digitalization plans. Well beyond the initial impact on these new tools however are that the technologies have significantly upset the organization, procedures and the company's culture itself is significantly modified. Senior management have taken into account the need for leadership to invest in this transformation in order to anticipate and optimize the use of these new technologies.

Because they can bridge both distances and time by facilitating effective information sharing and storage, the use of these technologies could be significant operational factors of military C2: they help to better understand the situation and speed up the decision-making cycle. Since some twenty years ago the early beginnings of digitization efforts have been uncoordinated between the different branches and services, however a renewed digital transformation of C2 should restore coherence within C2 systems. This digitalization, similar to that of commercial

companies, Implies and demonstrates a capacity for transformation of the C2 capacity: doctrine, organization, human resources and training, equipment and support.

AVERTISSEMENT

Cette étude rentre dans le cadre d'un groupe de travail sur la numérisation du commandement opérationnel.

Le sous-chef opérations de l'état-major des armées (SCOPS) a en effet donné mandat au commandement pour les opérations interarmées (CPOIA) d'organiser et de conduire une réflexion collective pour étudier, dans la durée, l'apport et les risques des évolutions de la technologie numérique sur la chaîne décisionnelle du commandement interarmées des engagements opérationnels actuels et futurs, du niveau stratégique au niveau tactique.

Deux stagiaires de l'École de guerre (dont l'auteur de cette étude) ont été chargés de tirer des conclusions de l'emploi des outils numériques (après avoir estimé ou constaté les possibilités qu'ils offrent) au sein d'une ou plusieurs entreprises françaises. Ce parangonnage avait pour but d'en tirer les conclusions appropriées sur l'emploi des capacités existantes ainsi que sur les adaptations capacitaires à envisager sur l'ensemble du spectre DORESE (Doctrine – Organisation – RH – Entraînement – Soutien – Équipement).

TRANSFORMATION DIGITALE DES ENTREPRISES. QUELS ENSEIGNEMENTS POUR LE COMMANDEMENT DES OPERATIONS ?

Introduction.

John Fuller définissait l'arme maîtresse comme celle autour de laquelle s'articule le combat, permettant d'emporter la décision : « l'arme maîtresse détermine le rôle joué par toutes les autres. Autrement dit, l'arme qui a la plus grande portée ou le plus grand rayon d'action doit être à la base des combinaisons tactiques »¹. Mais après l'arc, le canon et le char, cette arme maîtresse, selon Christian Malis, ancien professeur des Ecoles Militaires de Saint-Cyr, est désormais le commandement et la maîtrise de l'information² (C4ISR en anglais, pour *command, control, communications, computers, intelligence, surveillance and reconnaissance*). En effet, alors que l'environnement des opérations militaires est de plus en plus complexe, les progrès réalisés dans le domaine des technologies numériques semblent permettre de comprendre la situation et de prendre des décisions plus vite que l'adversaire. Le 14 octobre 1969, le général Westmoreland prédisait : « *on the battlefield of the future, enemy forces will be located, tracked, and targeted almost instantaneously through the use of data links, computer assisted intelligence evaluation, and automated fire control. [...] I am confident the American people expect this country to take full advantage of its technology – to welcome and applaud the developments that will replace wherever possible the man with the machine.* »³. Les débuts de la numérisation des systèmes de commandement, conduits sans cohérence globale, mais par des initiatives non coordonnées des armées et branches métier (approche *bottom-up*), n'ont cependant pas tenu toutes leurs promesses de compression des distances et de la temporalité, de dématérialisation, d'automatisation et de connectivité, complexifiant paradoxalement la prise de décision. De plus, le décalage entre la complexité

¹ FULLER John Frederick Charles, *L'Influence de l'armement sur l'histoire : depuis le début des guerres médiques jusqu'à la seconde guerre mondiale, l'âge de la bravoure, l'âge de la poudre, l'âge de la vapeur, l'âge du pétrole, l'âge de l'énergie atomique*, Payot, 1948, 239 p.

² MALIS Christian, *Guerre et stratégie au XXIe siècle*, Fayard, 2014, 352 p.

³ « Sur le champ de bataille du futur, les forces ennemies seront repérées, suivies et ciblées presque instantanément grâce à l'utilisation des liaisons de données, au renseignement assisté par ordinateur et au contrôle automatisé des tirs. [...] Je suis confiant dans le fait que les Américains attendent de ce pays qu'il profite pleinement de sa technologie – pour accueillir et applaudir les développements qui remplaceront partout où ce sera possible l'homme par la machine. » UNITED STATES OF AMERICA, Congressional Record-Senate proceedings and debates of the 91 congress second session, Vol. 116, Part. 18, 13 July 1970, p. 23824.

des systèmes d'information opérationnels et l'extrême facilité d'emploi des outils numériques civils est difficilement justifiable aux yeux des utilisateurs.

L'avènement de nouvelles technologies numériques, principalement développées dans le monde civil, pose le défi de leur maîtrise : « la révolution numérique en cours, stimulée par les usages publics et professionnels, devrait apporter les ruptures technologiques les plus importantes. L'hyperconnectivité, les technologies du *big data*, l'Internet des objets et la robotique sont quelques exemples d'opportunités majeures pour la Défense. L'intelligence artificielle, en particulier, est amenée à jouer un rôle central dans les systèmes de Défense, où elle contribuera de façon significative à la supériorité opérationnelle mais induira de nouveaux risques. »⁴. Les Armées se doivent d'exploiter le potentiel de ces technologies « disruptives » pour gagner en efficacité opérationnelle.

La technologie n'est pas l'unique réponse à la complexité des opérations militaires mais les perspectives offertes par ces myens numériques nécessitent que le commandement des opérations poursuive sa transformation intellectuelle et capacitaire pour en acquérir la maîtrise.

Les entreprises et les administrations ont entamé depuis une dizaine d'années leur « transformation digitale », modifiant leur structure, leur mode de fonctionnement et leur mentalité pour intégrer ces nouvelles technologies numériques dans l'ensemble des activités de l'organisation. Parce que, dans une certaine mesure, des parallèles peuvent être faits entre l'armée et l'entreprise (annexe 2), l'étude de la transformation digitale des entreprises permet de tirer des enseignements sur les adaptations possibles à la numérisation du commandement interarmées des opérations⁵.

⁴ MINISTERE DES ARMEES, *Revue stratégique de défense et de sécurité nationale*, octobre 2017, p. 33-34.

⁵ C'est le niveau retenu pour cette étude, conformément au rapport intermédiaire n°1 du groupe de travail C2IA (N°208/ARM/CPOIA/Div.EMP/CDT/NP du 05/07/2017).

1. La digitalisation⁶ des entreprises.

Face aux possibilités qu'offre l'outil numérique, les entreprises ont entamé leur « transformation numérique » (ou « digitale ») pour augmenter leur performance. D'après IDC⁷, 68% des entreprises françaises estiment être en cours de transformation et 46% font de la transformation digitale leur priorité depuis plus de 3 ans. Obligeant les dirigeants à redéfinir leur stratégie, la généralisation de la donnée numérique et l'émergence de technologies « disruptives⁸ » ont en effet bouleversé tous les domaines et tous les métiers de l'entreprise : la conception (réalité virtuelle, conception assistée par ordinateur...), la production et la maintenance (robotique, traçabilité...), le marketing (réseaux sociaux, e-réputation, publicité personnalisée...) et même les ressources humaines et l'organisation interne. Mais le principal obstacle à la transformation digitale reste le frein culturel, car le numérique nécessite de remettre en cause tous les processus, usages et marchés existants.

1.1. La donnée : l'or noir du XXI^e siècle.

Par l'importance qu'elles ont prise dans tous les domaines (économique, politique, sociétal...), les données⁹ (*data* en anglais) sont considérées comme l'or noir du XXI^e siècle. L'engouement pour les technologies de l'information (la « troisième révolution industrielle »¹⁰) devrait dans les années qui viennent connaître un renouveau avec l'apparition de nouvelles technologies prometteuses, au point que certains parlent d'une « quatrième révolution industrielle ».

⁶ L'anglicisme « digitalisation » et sa traduction « numérisation » seront indistinctement employés.

⁷ INTERNET DATA CORPORATION, Transformation digitale : où en sont les entreprises françaises ? enquête IDC, juin 2017, consulté sur <http://www.idc.fr/>.

⁸ Le terme « *disruptive technology* » est employé en 1997 par Clayton M. Christensen pour décrire les innovations rendant obsolètes des technologies existantes (CHRISTENSEN Clayton M., *The Innovator's Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fail*, Harvard Business School Press, 1997, 225 p.). Par opposition aux technologies de continuité, ce n'est pas par l'amélioration des performances des technologies actuelles, mais bien par la création de nouveaux marchés que les technologies de rupture s'imposent et remplacent les technologies actuelles.

⁹ Voir définition annexe 1.

¹⁰ Expression popularisée par Jeremy Rifkin en 2011 (RIFKIN Jeremy, *The Third Industrial Revolution: How Lateral Power Is Transforming Energy, the Economy, and the World*, St. Martin's Press, 2011, 304 p.).

1.1.1. Généralités sur les données.

La quasi-totalité des organisations aujourd’hui stockent et exploitent leurs données via des outils numériques (les données numériques – suites de 0 et de 1 – sont les représentations d’informations¹¹, les deux termes seront utilisés dans cette étude de façon indistincte). Avant de garantir une connaissance partagée suffisante pour permettre la prise de décision, les données doivent être traitées (Figure 1).

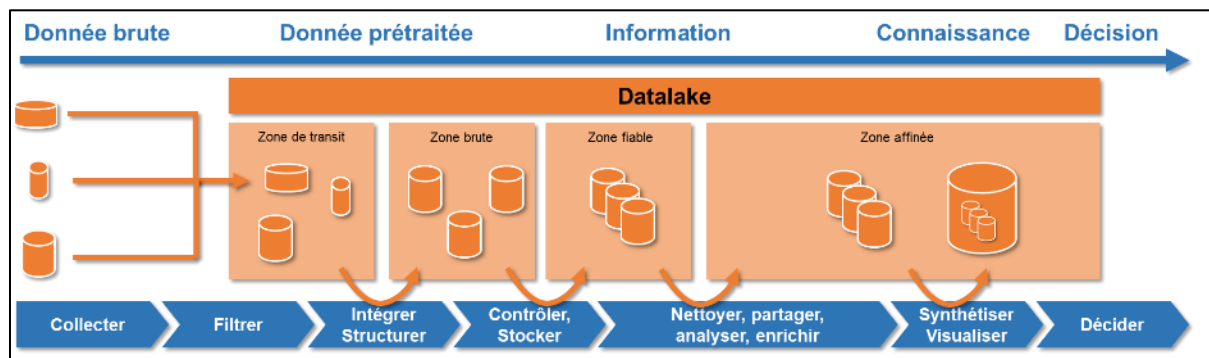


FIGURE 1 : TRAITEMENT DE LA DONNEE : DE LA COLLECTE A LA PRISE DE DECISION

La collecte des données nécessite au préalable d’identifier les données d’intérêt et leur localisation. Une fois collectées, ces données peuvent être filtrées pour éliminer ce qui est inutile ou inexploitable. Leur structuration (mise en un format prédéfini) est primordiale pour réduire les délais et les coûts d’analyse. Elles sont ensuite organisées, contrôlées, répertoriées, documentées, stockées afin d’être accessibles aux différents collaborateurs. L’analyse des données et leur synthèse puis leur visualisation permettent enfin de créer la compréhension nécessaire à la prise de décision. La part d’automatisation de ces processus peut être plus ou moins importante.

La qualité des données est essentielle. Le Cadre commun d’Architecture des Référentiels de données¹² définit cette qualité par une quinzaine de critères répartis en critères propres aux données elles-mêmes, en critères liés à l’utilisation des données et enfin des critères de sécurité (cf. Figure 2).

¹¹ Voir définition annexe 1.

¹² DISIC, *Cadre Commun d’Architecture des Référentiels de données*, version 1.0, 2013, p. 18.

Critères intrinsèques	
Unicité	Chaque entité du monde réel est représenté par un et un seul objet métier : absence de doublon et d'amalgame
Complétude	Les données sont complètes (instances et leurs caractéristiques) par rapport à la réalité et aux processus de collectes
Exactitude	Les données sont exactes et égales à la réalité qu'elles sont censées représenter. Ce critère englobe la notion de précision et de validité.
Conformité	Respect des contraintes liés aux données
Intégrité	Les relations entre les objets métiers sont cohérentes et présentes
Cohérence	Les caractéristiques des données sont cohérentes entres elles et avec les autres données considérées
Critères Services	
Accessibilité	Facilité d'accès aux données (synchrone / asynchrone, unitaire / masse, push / pull, open API...)
Cohérence	Gestion dans le temps de la distribution des données (problématique de synchronisation et de resynchronisation)
Actualité	Rapport entre les données et le temps, ou degré de mise à jour des données. La fraîcheur des données doit tenir compte de la réalité organisationnelle et réglementaire
Pertinence	Mesure de l'utilité d'un ensemble de données ou de l'adéquation de ces données à des usages
Critères Sécurité	
Disponibilité	Aptitude du référentiel à remplir une fonction dans des niveaux de services définis. Propriété d'une information d'être, à la demande, utilisable par une personne ou un système.
Intégrité	Les données doivent être celles que l'on s'attend à ce qu'elles soient et ne doivent pas être altérées de façon fortuite ou volontaire. Propriété assurant qu'une information n'a pas été modifiée ou détruite de façon non autorisée.
Confidentialité	Seules les personnes, les applications ou les processus autorisées ont accès aux informations qui leur sont destinées. Caractère réservé d'une information dont l'accès est limité aux seules personnes admises à la connaître pour les besoins de leurs missions ou aux processus autorisés
Traçabilité (preuve ou imputabilité)	C'est la garantie de disposer des éléments qui apportent la preuve des traitements ou autres événements relatifs aux informations considérées.
Lisibilité	Le codage d'une information doit à tout moment être décodable. L'obsolescence des codages peut ainsi conduire à des recodages, dans l'objectif du maintien de cette lisibilité.

FIGURE 2 : CRITERES DE DEFINITION DE LA QUALITE DES DONNEES (SOURCE DISIC)

Les systèmes d'information¹³ qui permettent le traitement des données sont généralement déclinés en 5 composantes :

- Les infrastructures de transport de l'information : ce sont les réseaux de télécommunication, composés d'arcs (câbles, liaisons hertziennes...) et de nœuds (routeurs, commutateurs).
- Les infrastructures d'hébergement : ce sont les centres de données (*data centers*) : serveurs, ordinateurs centraux ou baies de stockages, ou sont stockées les données.
- Les terminaux utilisateurs : points d'accès pour l'homme, ce sont les ordinateurs, tablettes, smartphones, ...
- Les applications ou programmes informatiques.
- La sécurité des données, un enjeu majeur : comment garantir leur disponibilité, leur intégrité, leur confidentialité et leur traçabilité. Ce sont les critères de classification de

¹³ Voir définition annexe 1.

l'information. Une juridiction de la donnée se met par ailleurs en place, à l'instar du règlement général européen sur la protection des données à caractère personnel (ou *General Data Protection Regulation*, GDPR), qui s'applique depuis le 25 mai 2018. Ces impératifs de protection de la donnée peuvent entrer en conflit avec l'exigence d'efficacité opérationnelle.

Il est également à noter que la signification – et donc la valeur – d'une information varie en fonction de l'utilisateur (métier, culture), de l'opportunité et du facteur temps. Un système d'information complet et performant est donc particulièrement complexe à définir, car il faut au préalable définir la sémantique des données ou « l'étude et la formalisation du sens et de la signification des données »¹⁴. Pour décrire la complexité de l'adaptation des SI au traitement des données, le terme d'urbanisation¹⁵ des SI est usité, par analogie avec l'urbanisation des villes : il est nécessaire de cartographier les quartiers, les îlots, les infrastructures de transport, les parkings, les réglementations, etc. pour optimiser les flux de transport. Cela passe par un travail de conceptualisation et de modélisation du SI.

1.1.2. L'explosion de la donnée.

L'accroissement exponentiel des flux d'informations, permis par le développement des technologies de stockage et d'échange d'informations, a été caractérisé en 2001 par les 3V¹⁶ : volume, variété et vitesse.

Volume.

Le volume de données produites croît de façon exponentielle, conséquence de l'augmentation du nombre de terminaux vendus et des capacités de stockage. D'après IDC¹⁷, en 2016, 2 zettaoctets¹⁸ de données numériques avaient déjà été produites et en 2025, le volume total de données devrait dépasser les 20 zettaoctets (Figure 3).

¹⁴ DISIC, *Cadre Commun d'Architecture des Référentiels de données*, version 1.0, 2013, p. 13.

¹⁵ Voir définition annexe 1.

¹⁶ LANEY Doug, *3D Data Management : Controlling Data Volume, Velocity, and Variety*, research report, Meta Group / Gartner, 6 February 2001, 4 p.

¹⁷ REINSEL David, GANTZ John, RYDNING John, *Data Age 2025: The Evolution of Data to Life-Critical : Don't Focus on Big Data; Focus on the Data That's Big*, International Data Corporation (IDC) White Paper, Framingham (USA), April 2017, 25 p.

¹⁸ 1 zettaoctet = 10²¹ octets = 1000 milliards de gigaoctets.

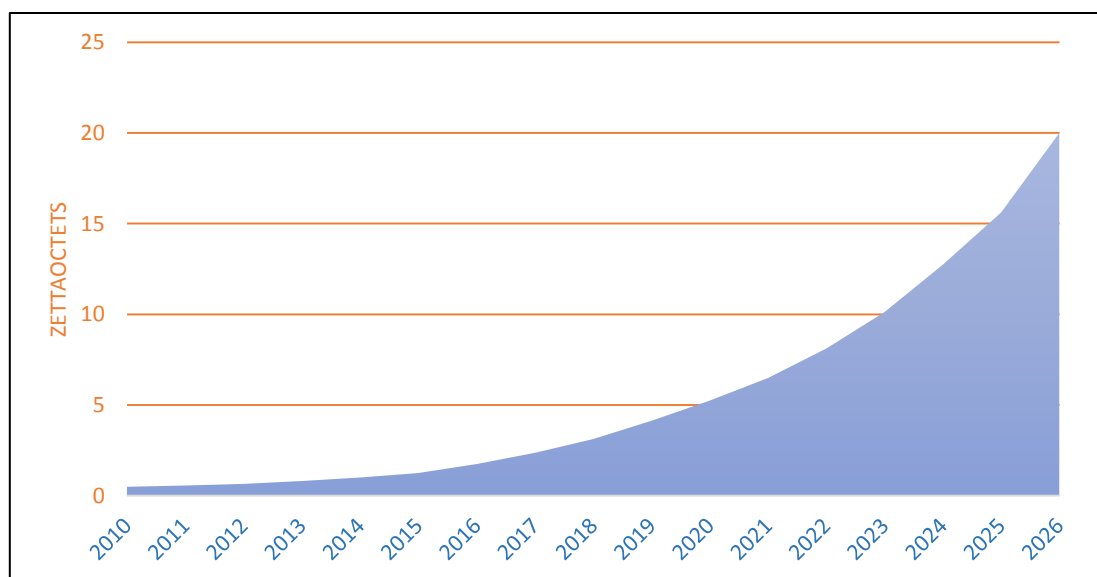


FIGURE 3 : VOLUME MONDIAL DE DONNEES, D'APRES IDC

Au IIIe siècle, la bibliothèque d'Alexandrie était réputée rassembler l'ensemble des connaissances humaines. D'après Viktor Mayer-Schönberger et Kenneth Cukier¹⁹, en 2013, le volume de données existantes par habitant sur Terre était l'équivalent de 320 bibliothèques d'Alexandrie. En extrapolant, en 2025, ce devrait être l'équivalent de 37.637 bibliothèques d'Alexandrie par habitant.

Variété.

Une des principales difficultés du traitement automatisé des données provient de la variété, de l'hétérogénéité des données et de leur provenance (par exemple, données de géolocalisation, fichiers vidéo, SMS, ...). Il est alors difficile de les intégrer dans des bases de données exploitables. Le processus d'extraction, de transformation et de chargement des données (ETL pour *extract, transform, load*) permet de préparer les données pour en faciliter par la suite l'analyse et le stockage dans un entrepôt de données où elles seront référencées et accessibles.

- La phase d'extraction nécessite une stratégie bien définie : identifier les sources des données, leur localisation, leur format, leur disponibilité, leur rapatriement éventuel.
- La phase de transformation consiste à structurer les données et à les mettre au format voulu pour permettre leur traitement. La plupart d'entre elles sont en effet non structurées, c'est-à-dire que leur format n'a pas été prédéfini. Elles ne sont donc généralement pas stockables dans des bases de données. Certaines actions sont alors

¹⁹ MAYER-SCHÖNBERGER Viktor, CUKIER Kenneth, *Big Data: a Revolution That Will Transform How We Live, Work, and Think*, Houghton Mifflin Harcourt, 2013, p. 9.

difficiles à accomplir ou consommatrices d'énergie et de temps, telles les recherches. Une solution palliative consiste en l'utilisation de métadonnées²⁰ et au recours aux *tags*²¹.

- La phase de stockage enfin consiste à centraliser les données dans l'entrepôt de données.

Ces trois phases (ETL) sont indispensables pour analyser des données nombreuses et variées, mais coûteuses : « aujourd'hui, 80% des ressources en termes de développement dans un projet *Big Data* sont consacrées au processus ETL contre 20% pour la partie analyse des donnée »²².

Vélocité.

L'augmentation de la puissance de calcul des ordinateurs (la loi de Moore²³ continue de se vérifier, grâce aux progrès des nanotechnologies et bientôt de l'informatique quantique), les possibilités de calcul distribué offertes par des réseaux de plus en plus grands et l'accroissement des bandes passantes des systèmes de communication entraînent une augmentation de la rapidité d'acquisition et de traitement des données.

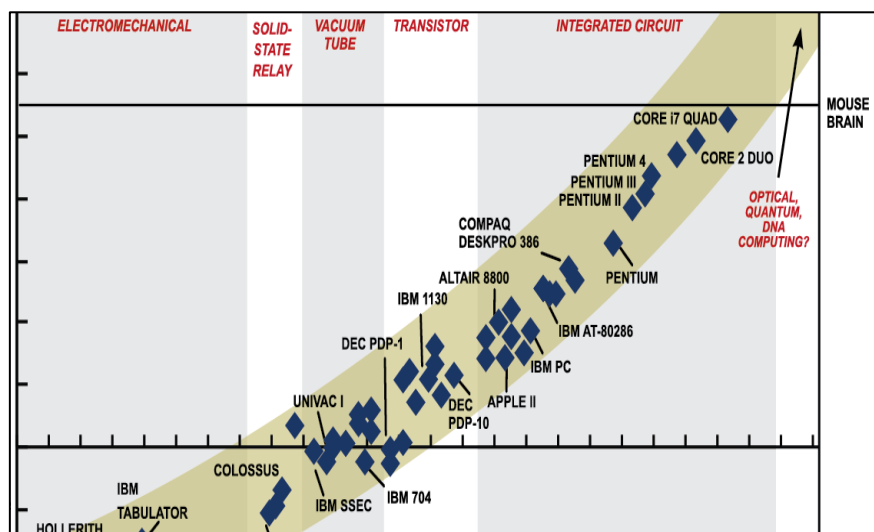


FIGURE 4 : AUGMENTATION DE LA PUISSANCE DE CALCUL (SOURCE RAY KURZWEIL²⁴)

²⁰ Voir définition annexe 1.

²¹ Voir définition annexe 1.

²² DYEUVRE Axel, MAUPEOU Martin de, RICHARD-TIXIER Fleur, *Enjeux stratégiques du Big Data pour la Défense : Possibilités offertes aux Armées et enjeux de l'exploitation des données*, CEIS (Les Notes Stratégiques), juin 2017, p. 14.

²³ Gordon E. Moore, co-fondateur de Intel, prédit en 1975 que la quantité de transistors des microprocesseurs doublerait tous les 18 mois.

²⁴ KURZWEIL Ray, *The Singularity Is Near : When Humans Transcend Biology*, Penguin, 2005, p. 67.

Les 3V rendent l'automatisation d'une partie du traitement des données inéluctable car désormais cela est plus efficace que le traitement par des analystes humains dans nombre de domaines. Un exemple a été fourni en 2017 par une équipe de l'université du Missouri, qui a entraîné un algorithme de *deep learning*²⁵ pour identifier des sites de missiles sol-air chinois ; l'algorithme a fourni les mêmes résultats que l'analyse traditionnelle (plus de 90% de fiabilité), mais en 42 minutes seulement au lieu d'une soixantaine d'heures²⁶. La principale limite devient la cognition humaine car les capacités humaines de traitement de l'information sont désormais dépassées par la machine dans de nombreux domaines.

1.1.3. Des technologies de rupture.

Plusieurs technologies émergentes, dites de « disruption », risquent de transformer en profondeur les organisations et de renforcer l'importance de la donnée numérique. Parmi elles, les données massives (ou *big data*), l'intelligence artificielle, l'informatique en nuage (*cloud computing*), l'internet des objets (IoT pour *Internet of Things*), mais aussi la réalité virtuelle ou augmentée, les imprimantes 3D, les *blockchains*...

*Les données massives (big data)*²⁷.

L'engouement pour le *big data* a commencé dans les années 2000, lorsque les capacités de stockage et de calcul des ordinateurs grand public ont permis de réaliser des calculs que seuls quelques supercalculateurs étaient capables d'effectuer jusqu'alors. L'ensemble des acteurs a alors pris conscience des apports potentiels de l'analyse de grandes masses de données.

Les problématiques de *big data* sont liées au traitement de grandes masses de données : d'après la définition²⁸, un tableau de seulement 100 millions de lignes n'est donc pas en théorie du *big data*... mais en pratique, le *big data* est souvent confondu avec des outils d'analyse de données, des domaines proches et étroitement liés, les *data sciences* : le *data analytics* (collecte et analyse de données automatisée) et le *data mining* (fouille de données :

²⁵ Voir définition annexe 1.

²⁶ MARCUM Richard A. (et al.), "Rapid broad area search and detection of Chinese SAM sites using deep convolutional neural networks," *Journal of Applied Remote Sensing*, Vol.11, No.4, Oct-Dec 2017, 32 p.

²⁷ Voir définition annexe 1.

²⁸ *Big data* ou données massives : le *big data* « désigne des ensembles de données devenus si volumineux qu'ils dépassent l'intuition et les capacités humaines d'analyse et même celles des outils informatiques classiques de gestion de base de données ou de l'information » (Wikipédia).

on extrait des données parmi celles collectées, on les compare avec d'autres pour en tirer des corrélations).

Le *machine learning* (apprentissage automatique, consiste à développer des méthodes permettant à l'ordinateur de traiter les données voire d'incrémenter un modèle au fur et à mesure) est quant à lui une technique d'analyse ou plutôt un ensemble de techniques (Figure 5). Un enjeu majeur du *machine learning* est la création du corpus de données qui sert à nourrir l'algorithme. La pertinence du résultat dépend de la qualité de ces données, qu'un humain doit trouver et sélectionner.

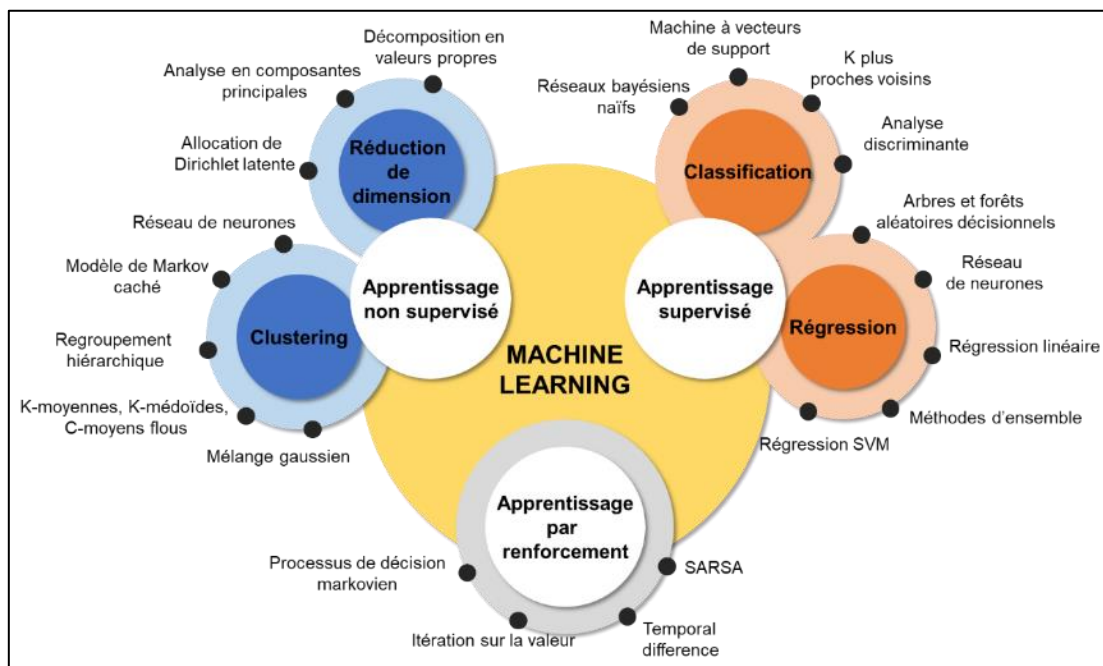


FIGURE 5 : LES TYPES DE MACHINE LEARNING

Avec l'augmentation de la quantité de données disponibles, l'apprentissage devient davantage performant, les analyses sont de plus en plus pertinentes et l'analyse de données, de descriptive, devient prédictive et même prescriptive (Figure 6). La prise de décision, jusqu'alors réservé à l'homme, devient possible pour la machine. L'exemple (simplifié) de la maintenance industrielle est significatif : l'analyse descriptive de données permet de faire des statistiques sur les pannes, l'analyse diagnostique désigne l'origine des pannes et l'analyse prédictive permet, comme son nom l'indique, de prédire les pannes, avec plus ou moins de fiabilité. Enfin, l'analyse prescriptive, la plus complexe, permet de conseiller sur la conduite à tenir, voire de dicter cette conduite à tenir.

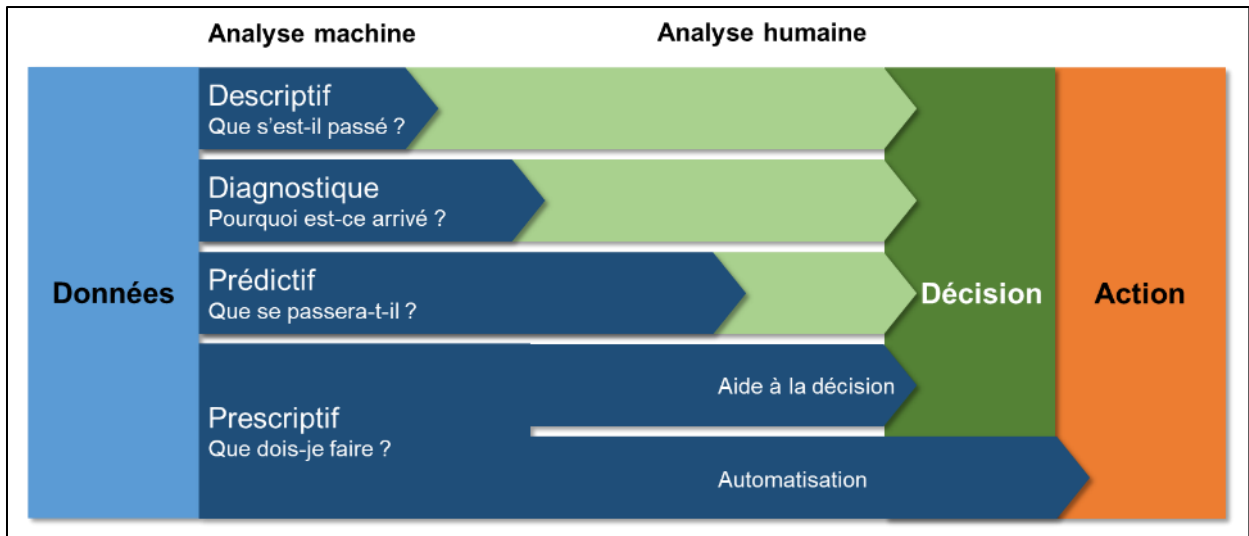


FIGURE 6 : DIFFERENTS TYPES D'ANALYSE DE DONNEES (SOURCE GARTNER)

Les métiers liés au *big data* sont divers et couvrent les problématiques de collecte, de stockage, d'organisation, d'analyse et de visualisation des données (voir Figure 7).

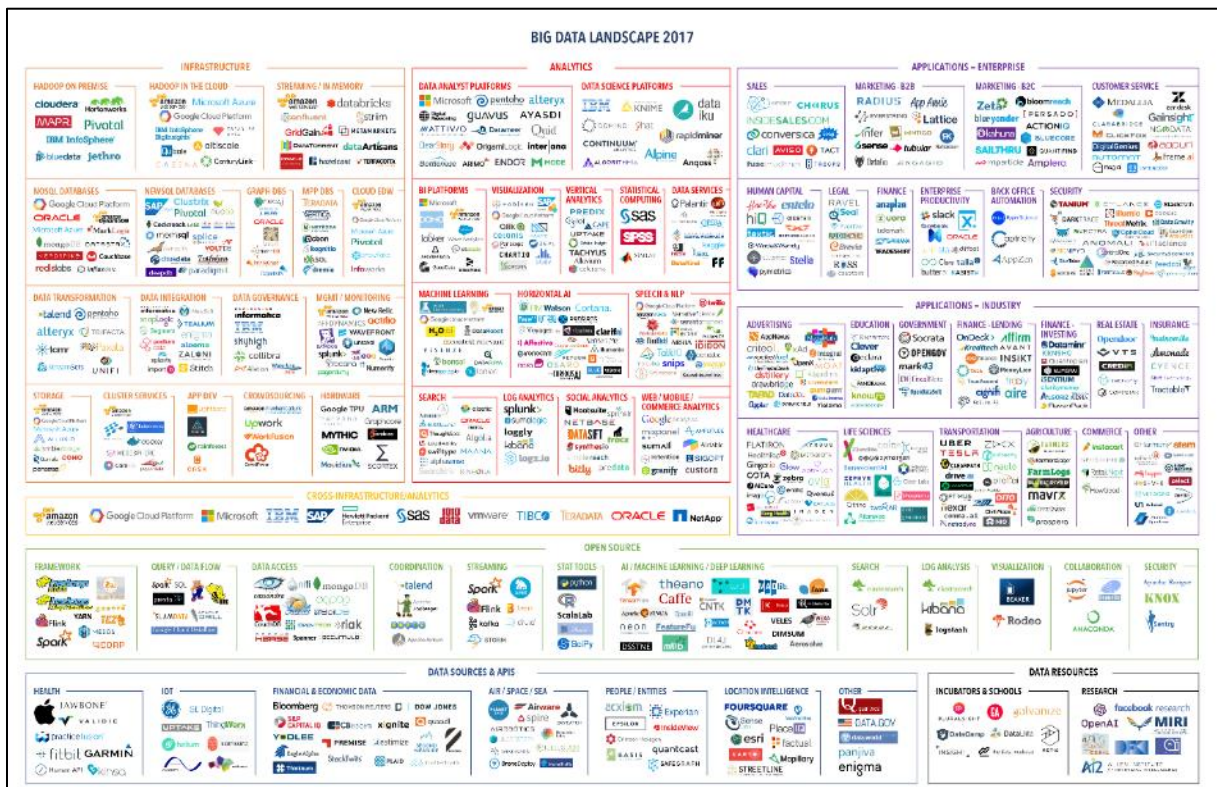


FIGURE 7 : PAYSAGE DES TECHNOLOGIES ET ACTEURS DE L'UNIVERS BIG DATA (SOURCE FIRSTMARK²⁹)

²⁹ TURCK Matt, *Firing on All Cylinders: The 2017 Big Data Landscape*, 5 April 2017, <http://mattturck.com/bigdata2017/>.

*L'intelligence artificielle*³⁰ (IA).

C'est la combinaison des sciences exactes (mathématiques, logique, algorithmique, statistique, ...) avec les neurosciences, la philosophie, la psychologie, la linguistique, l'anthropologie... qui donne à la donnée informatique une nouvelle valeur. Ce mouvement s'inscrit dans celui des sciences cognitives³¹, qui tentent de modéliser la façon dont les décisions sont prises par le cerveau à partir des informations perçues.

L'IA connaît donc un nouveau regain depuis la fin des années 2000, en particulier grâce au *machine learning* et aux progrès de la robotique (dont la miniaturisation) : la quantité de données disponibles (en partie grâce à l'automatisation des capteurs) permet aux algorithmes d'apprendre efficacement sur l'incidence des données d'entrée sur la décision prise et à la robotique associée d'agir dès la décision prise. L'intérêt de l'IA est donc bien de suppléer ou remplacer l'humain quand celui-ci n'a pas le temps ou la capacité cognitive à comprendre la situation face aux gros volumes de données, voire est trop lent pour réagir efficacement. La problématique (éthique, juridique et technique) de la place de l'homme par rapport à la machine se pose alors, avec la notion de « partage d'autorité ».

Les domaines d'étude de l'IA sont variés. Un groupe de travail, France IA, a en 2017 à la demande du gouvernement défini une stratégie française en matière d'IA. Il a entre autres³² défini une cinquantaine de sous-domaines de recherche en IA (Figure 8).

³⁰ Voir définition annexe 1.

³¹ Voir définition annexe 1 et sur le sujet : LEBOEUF Aline, HOURS Henri, LARCHET Louis-Guilhem, « Sciences cognitives et organisation des postes de commandement », *Cahiers de la pensée mili-Terre*, centre de Doctrine et d'Enseignement du Commandement, No. 47, 2^e semestre 2017, p. 15-23.

³² MINISTERE DE L'ECONOMIE ET DES FINANCES, *Rapport de synthèse France intelligence artificielle*, 2017, p. 335, <https://www.economie.gouv.fr/evenement-france-ia>.

IA et SHS	Ethique de l'IA Droit et IA Economie et IA Sociologie et IA Humanités numériques	Robotique	Conception, Perception, Décision, Action Interactions avec les robots Flottes de robots Apprentissage des robots Cognition pour la robotique et les systèmes Véhicules autonomes
Représentation des connaissances	Bases de connaissances Extraction et nettoyage de connaissances Inférence Web sémantique Ontologies	Neurosciences Sciences cognitives	Compréhension et stimulation du cerveau et du système nerveux Sciences cognitives
Apprentissage automatique	Apprentissage supervisé / non supervisé / séquentiel et par renforcement Optimisation Méthodes bayésiennes Réseaux de neurones ou neuronaux Méthodes à noyau Apprentissage profond Fouille de données Analyse de données massives	Algorithmique de l'IA	Programmation logique et ASP Dédution, preuve Théories SAT et Satisfaction de contraintes Raisonnement causal, temporel, incertain Recherche heuristique Planification et ordonnancement
Traitement automatique des langues	Analyse syntaxique Lexiques Discours (Interaction, Connaissances et Langage Naturel) Traduction automatique Parole	Aide à la décision	Théorie des jeux Décision Gestion de l'incertitude Explicabilité
Vision et Reconnaissance des formes	naissance d'objets Reconnaissance d'activités Recherche dans des banques d'images et de vidéos Reconstruction 3D et spatio-temporelle Suivi d'objets et analyse des mouvements Localisation d'objets Asservissement visuel	Systèmes multi-agents	Coordination Multi-Agents (Planification multi-agents, Décision multi-agents) Résolution Distribuée de Problèmes Apprentissage multi-agents Ingénierie Multi-Agents (Langages, plateformes, méthodologies) Simulation Multi-Agents (intéresse aussi les SHS)
		Interaction avec l'humain	Interaction avancée, apprentissage humain Agents conversationnels Chatbots

FIGURE 8 : DOMAINES DE RECHERCHE DE L'IA, D'APRES LE RAPPORT FRANCE IA

A la demande du gouvernement, le mathématicien et député Cédric Villani a rendu public le 28 mars 2018 un rapport³³ sur le sujet. Il y insiste entre autres sur la nécessité de démystifier le sujet, nombre de fantasmes nourrissant l'idée d'une IA « forte », prenant le pas sur l'humanité.

L'informatique en nuage (cloud computing).

Il existe différents types de *cloud* : le *cloud* public (les données ne sont pas forcément accessibles à tous mais sont stockées sur des serveurs hébergeant des données de provenance diverses), le *cloud* privé (les serveurs hébergeant les données sont dédiés à l'organisation) et le *cloud* hybride.

Le *cloud computing* s'est généralisé pour faire face à l'explosion des données : dans le cadre du *big data*, il offre principalement des capacités de stockage (*databases* et *data wrangling* : enrichissement, référencement...) et de calcul pour traiter les volumes importants de données.

Les enjeux du *cloud computing* sont principalement la localisation des données (serveurs, énergie) et leur sécurité.

³³ VILLANI Cédric (dir.), *Donner un sens à l'intelligence artificielle: pour une stratégie nationale et européenne*, Conseil national du numérique, 2018, 233 p.

L'internet des objets (IoT)³⁴.

Un objet connecté à un réseau produit ou capte des informations et possède un minimum d'électronique pour les transmettre et les recevoir. Les objets connectés sont de plus en plus nombreux. Selon le cabinet IDC³⁵, le nombre d'objets connectés dans le monde passera de 2 par personne en 2015 à 4 par personne en 2020. Toujours d'après IDC³⁶, en 2025, une personne connectée interagira avec un réseau toutes les 18 secondes en moyenne.

Les enjeux des objets connectés sont nombreux : traitement des données, temps réel, mobilité, sélection des informations à transmettre, flux de transmission (support, fréquence...), protection des données, etc. L'écosystème de l'IoT est complexe³⁷ (Figure 9).



FIGURE 9 : ECOSYSTEME DE L'IOT (SOURCE : CIGREF)

³⁴ Voir définition annexe 1.

³⁵ INTERNET DATA CORPORATION, Internet des objets, enquête IDC, décembre 2015, consulté sur <http://www.idc.fr/>.

³⁶ REINSEL David, GANTZ John, RYDNING John, *Data Age 2025: The Evolution of Data to Life-Critical: Don't Focus on Big Data; Focus on the Data That's Big*, International Data Corporation (IDC) White Paper, Framingham (USA), April 2017, 25 p.

³⁷ VIALETES Isabelle (dir.), *Objets connectés : un 360° pour bien les comprendre*, CIGREF, Paris, décembre 2016, 33 p.

1.1.4. Maturité des technologies.

Toutes les technologies émergentes ne tiennent pas forcément leurs promesses et leur mise sur le marché peut être laborieuse. Le cabinet Gartner publie tous les ans le *Hype Cycle*, schéma présentant sur une courbe l'engouement médiatique pour les nouvelles technologies et leur degré de maturité. Toutes les technologies, avant d'être rentables, connaissent un pic d'attentes démesurées et des désillusions, avant de revenir en grâce. Le *Hype Cycle* de 2017 (Figure 10) met en avant l'intelligence artificielle (voitures autonomes, drones commerciaux, *chatbots*...) et les expériences immersives (réalité virtuelle, homme augmenté, interface cerveau-machine, ...).

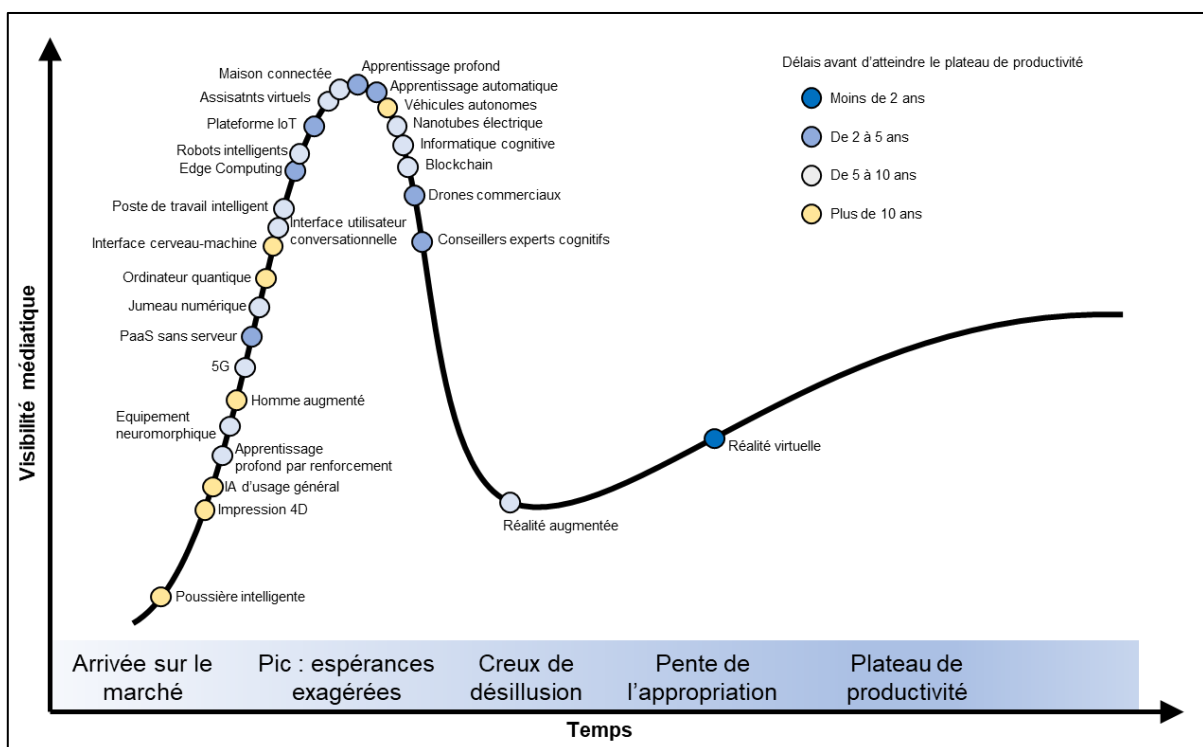


FIGURE 10 : HYPE CYCLE DES TECHNOLOGIES EMERGENTES 2017, D'APRES GARTNER³⁸

L'échelle TRL (*technology readiness level*, Figure 11), développé à l'origine par la NASA est désormais utilisée par tous les organismes et entreprises. C'est une échelle d'évaluation du degré de maturité atteint par une technologie.

³⁸ GARTNER, Top Trends in the Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies, 2017, 15 August 2017, <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/top-trends-in-the-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2017/>.

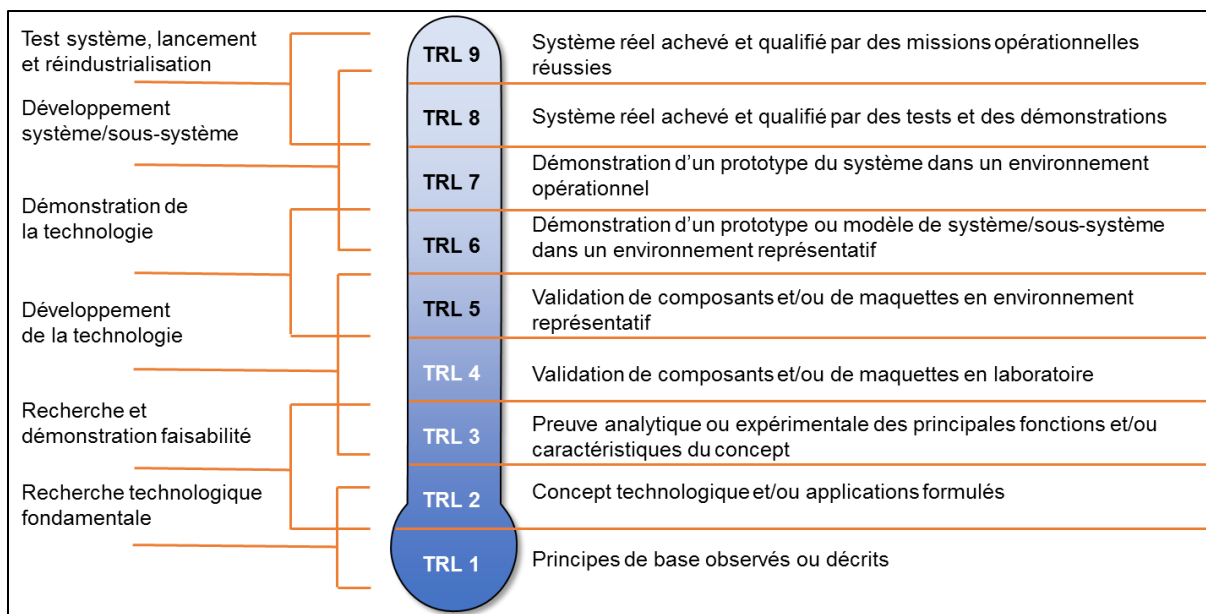


FIGURE 11 : ECHELLE TRL, D'APRES LE PLAN STRATEGIQUE DE RECHERCHE & TECHNOLOGIE DE DEFENSE ET DE SECURITE - DGA 2009

1.2. La culture digitale : une nécessité.

“The big moment for an organization is when they have embraced the fact that digital transformation isn't a technical issue, but a cultural change.” (Ian Rogers, Chief Digital Officer chez LVMH).

Selon une étude du cabinet CAPGEMINI³⁹, 62% des employés considèrent que le premier obstacle à la transformation digitale est le frein culturel. La culture d'entreprise⁴⁰ peut être vue comme la combinaison des habitudes et expériences des employés et de l'esprit insufflé par le leadership. L'emploi des outils numériques, parce qu'il modifie la façon de travailler et nécessite une adaptation permanente pour ne pas être dépassé par les évolutions technologiques, impose à l'entreprise une véritable transformation culturelle qui va bien au-delà des simples connaissances et maîtrise des nouveaux outils.

³⁹ BUVAT Jérôme (dir.), *The Digital Culture Challenge: Closing the Employee-Leadership Gap*, The Digital Transformation Institute, CAPGEMINI, 2017, p. 2.

⁴⁰ Voir définition annexe 1.

Cette culture digitale, comme l'ensemble de la transformation digitale, doit être insufflée par le leadership, mais sans être imposée. Plusieurs caractéristiques la définissent (Figure 12).

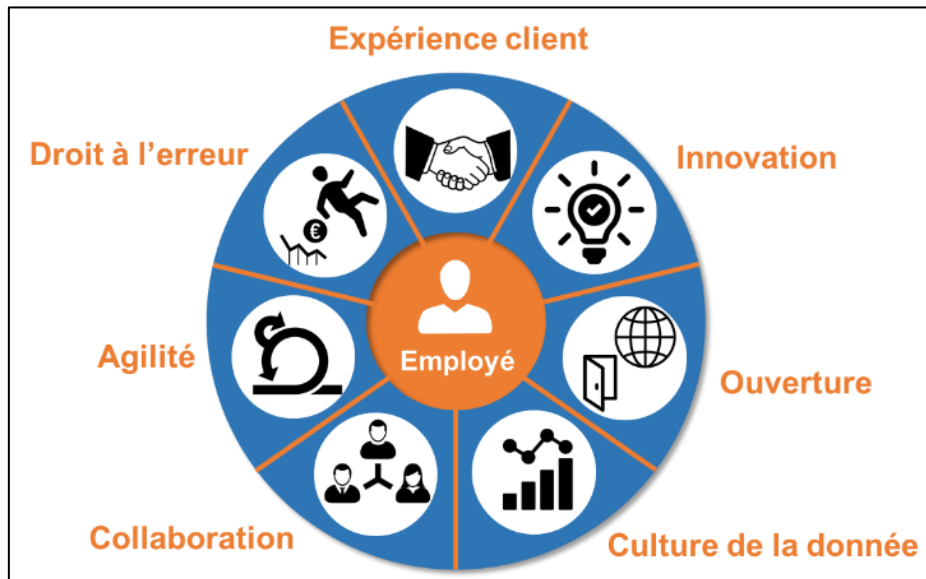


FIGURE 12 : LES CARACTERISTIQUES DE LA CULTURE DIGITALE, D'APRES CAPGEMINI⁴¹

La culture de la donnée doit être diffusée au sein de l'entreprise. La définition de standards ne suffit pas. Chaque employé doit être convaincu de l'importance de les respecter (selon l'adage Gigo des informaticiens, « *garbage in, garbage out* » : si les données d'entrée ne sont pas correctement saisies, leur exploitation comme leur valorisation sont impossibles). Pour ne pas être vue comme une contrainte, la donnée numérique par ailleurs doit être décloisonnée : idéalement, la donnée est ouverte, systématiquement accessible aux experts data de l'entreprise. Si besoin, l'accès peut alors être restreint en fonction du besoin d'en connaître. Outre son décloisonnement, la donnée doit être organisée de bout-en-bout pour éviter les pertes d'information aux interfaces entre systèmes. Par exemple, la donnée numérique produite par le logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO) d'un produit peut servir à calibrer la chaîne de production : la modification d'un paramètre à la conception est ainsi répercutée de façon automatique sur l'ensemble de la chaîne.

L'agilité⁴² nécessite flexibilité et rapidité dans la prise de décision pour s'adapter rapidement aux changements de situation. Il est donc nécessaire de raccourcir les cycles d'acquisition, de développement, de commercialisation pour éviter l'obsolescence technologique des produits.

⁴¹ Ibid.

⁴² Voir définition annexe 1.

Ainsi les « méthodes agiles » qui veulent corriger le traditionnel « cycle en V⁴³ » de gestion de projet permettent le développement de produits par itération : le produit n'est pas totalement défini à l'avance, mais au fur et à mesure par le client. L'expression du besoin en revanche doit être précise.

L'acceptation du **droit à l'erreur** est indispensable à la transformation digitale. Dans le domaine des technologies numériques, entre 20 et 30% des projets sont des échecs, selon les études. L'échec doit donc être accepté, les petits projets valorisés (« *try fast, fail fast* »), pour un faible coût au départ jusqu'à obtenir des *Proof of Concept* (PoC⁴⁴), puis améliorés une fois fonctionnels.

L'ouverture de l'entreprise à l'ensemble des acteurs est indispensable : les relations client et fournisseur ne suffisent plus pour s'adapter et suivre le rythme du marché et des évolutions technologiques. L'entreprise doit donc établir des relations (plateformes, labs, *innovation hubs*...) avec les universités, écoles, *start-ups*, experts indépendants...

L'innovation⁴⁵ joue un rôle central dans la vie de l'entreprise : avec la globalisation du marché, une entreprise incapable d'innover meurt. Les notions de transformation digitale et d'innovation sont étroitement liées, au point d'être parfois confondues, tandis que l'innovation n'est souvent abordée que sous son prisme numérique. Cela s'explique par l'immense potentiel de ces technologies numériques et par leur impact sur les nouvelles façons de travailler. Duval et Speidel ont décrit 7 dispositifs d'innovation⁴⁶ à mettre en place tant en interne qu'avec l'écosystème externe de l'entreprise (fournisseurs, clients, universités, *start-up*...) :

- Au besoin, résolution de problèmes technologiques précis, par des experts externalisés ou avec des équipes spécialisées en interne ;
- Pour faire avancer la R&D et profiter de la créativité des collaborateurs, mise en place de concours d'idées ;

⁴³ Le cycle en V est une méthode de gestion de projet utilisée dans l'industrie et adaptée à l'informatique dans les années 80. Cette méthode est articulée en trois grandes phases : conception/spécification (phase descendante du V), réalisation et validation (phase montante du V). Chaque étape ne débute qu'à partir du moment où la précédente est terminée, ce qui assure une mise en œuvre du projet sécurisée. En revanche, cette méthode n'est pas adaptée aux changements, qui ne peuvent intervenir qu'entre deux cycles. De plus, en cas de retard, la durée de la phase de validation, pourtant cruciale pour la qualité du produit, se retrouve raccourcie.

⁴⁴ Voir définition annexe 1.

⁴⁵ Voir définition annexe 1.

⁴⁶ DUVAL Martin, SPIDEL Klaus-Peter, *Open innovation : Développez une culture ouverte et collaborative pour mieux innover*, Dunod (Stratégies et management), 2014, 208 p.

- Création de boîte à idées sur des plateformes d'idées innovantes, comme le réseau social d'entreprise ;
- Animation d'une communauté de bêta-testeurs (chargés de tester les produits avant leur industrialisation) qui donnent leurs avis dès la phase de conception des produits ;
- Création de plateformes ouvertes dédiées, pour permettre aux développeurs d'applications d'avoir accès à davantage de données ;
- Valorisation de relations avec des *start-ups* et développement de projets d'intrapreneuriat (les employés deviennent des entrepreneurs au sein de l'entreprise, avec un certain degré d'autonomie) ;
- Investissement via des participations minoritaires. Ces investissements permettent entre autres de consolider les relations avec des entreprises ou *start-up* prometteuses.

Le travail collaboratif est favorisé par les outils numériques : les interactions entre la direction, les collaborateurs et les interlocuteurs d'un projet sont facilitées. Comme le souligne Walter Isaacson (ancien PDG de CNN et biographe de Steve Jobs) dans sa préface du livre *Team of team*⁴⁷ du général McChrystal, « *The greatest innovations have not come from a lone inventor or from solving problems in a top-down, command-and-control style. Instead, the great successes—the creation of the computer, transistor, microchip, Internet—come from a “team of teams” working together in pursuit of a common goal* ». Les espaces physiques ou virtuels de « *coworking*⁴⁸ » et de « *crowdsourcing*⁴⁹ » permettent d'échanger librement.

L'expérience client (CX, customer experience)⁵⁰ enfin évolue avec la déformation du rapport de force offre/demande au profit du client. À cause du web et des réseaux sociaux, l'entreprise n'a plus la maîtrise absolue de son image : l'avis des internautes influe plus que la communication. D'où la nécessité de recueillir l'avis du client et de personnaliser le produit (expérience utilisateur⁵¹ ou UX, *user experience*). D'après une enquête⁵² IDC de décembre 2017, la première attente des entreprises clientes d'agence en stratégie digitale est la cartographie de l'expérience utilisateur. L'entreprise est donc obligée de s'adapter non

⁴⁷ McCHRISTAL Stanley (general, dir.), *Team of Teams – New Rules of Engagement for a Complex World*, Penguin UK, 2015, 304 p.

⁴⁸ Voir définition annexe 1.

⁴⁹ Voir définition annexe 1.

⁵⁰ Voir définition annexe 1.

⁵¹ Voir définition annexe 1.

⁵² www.blog-idcfrance.com/infographie-le-marche-des-services-dagences-et-de-conseil-en-strategie-digitale/

seulement à la façon dont l'utilisateur considère le produit (UX), mais également à la perception qu'a le client de la marque (CX).

Avec l'expérience client, tout est orienté vers la satisfaction du client, au détriment des conditions de travail et de la satisfaction des employés. La transformation numérique veut corriger cette tendance en plaçant l'employé au centre de toutes les attentions.

La diffusion de cette culture digitale nécessite pour que les employés se l'approprient d'être insufflée par la direction.

1.3. La conduite de la transformation.

Pour assurer la transformation digitale de leur entreprise en une « Industrie 4.0 », les dirigeants définissent des stratégies de transformation digitale et modifient leur organisation pour s'adapter aux nouvelles technologies.

1.3.1. L'industrie du futur.

Né en Allemagne au début des années 2010, le concept d'« Industrie du futur » ou « Industrie 4.0 » répond à celui de quatrième révolution industrielle (Figure 13) : la convergence entre les technologies de l'information et la production industrielle se poursuit pour atteindre un modèle idéal. Non seulement les entreprises s'emparent et s'approprient les nouvelles technologies, mais toute la chaîne industrielle s'interconnecte via la donnée numérique.

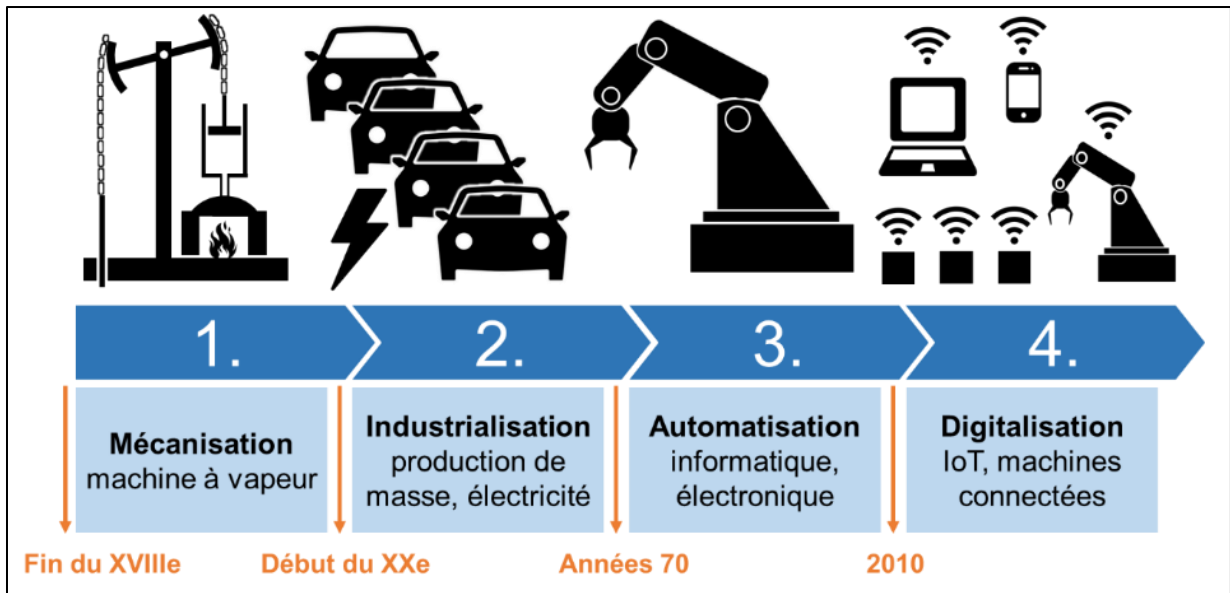


FIGURE 13 : LES REVOLUTIONS INDUSTRIELLES, D'APRES CHRISTOPH ROSER⁵³.

La priorisation des technologies.

Parce que la maîtrise des technologies a un coût, les entreprises doivent tout d'abord définir leur stratégie de digitalisation et fixer des priorités.

Le cabinet Roland Berger a décrit l'ensemble des technologies à développer pour l'industrie du futur, classées par métier et par niveau de maturité (Figure 14) en fonction des objectifs poursuivis.

⁵³ AllAboutLean.com.

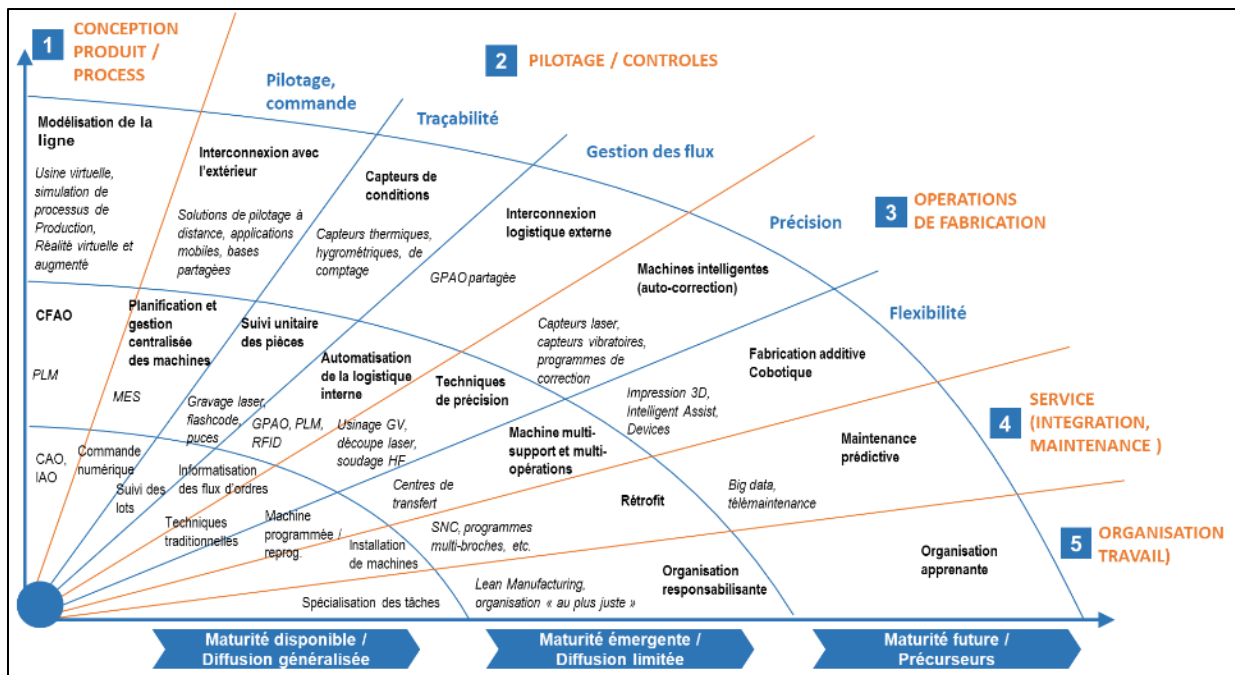


FIGURE 14 : LES TECHNOLOGIES DE L'INDUSTRIE 4.0, D'APRES LE CABINET ROLAND BERGER

Le syndicat professionnel GIMELEC (Groupement des industries de l'équipement électrique, du contrôle-commande et des services associés des technologies) estime que pour les 5 ans à venir, les principales technologies à acquérir sont le *cloud*, l'*IoT* et le *big data*⁵⁴.

La donnée de bout-en-bout.

La donnée numérique permet idéalement de connecter tous les métiers de l'entreprise. La stratégie de l'entreprise doit pour cela fixer des standards de données. Si créer une nouvelle usine entièrement numérisée est relativement aisé, digitaliser une usine « traditionnelle » l'est en revanche beaucoup moins : c'est un véritable défi de rendre interopérables et connectés l'« héritage » (le *legacy*⁵⁵) : les différents SI et logiciels de gestion des processus industriels (*manufacturing execution system*, MES), de suivi de la production (gestion de la production assistée par ordinateur, GPAO), de gestion des entrepôts (*warehouse management system*, WMS) et les SI de gestion des clients (*customer relationship management*, CRM).

⁵⁴ GIMELEC, *Industrie du futur : La révolution des données*, septembre 2017, p. 1.

⁵⁵ Voir définition annexe 1.

GIMELEC a décrit l'ensemble des données de l'entreprise⁵⁶, liant en bout-en-bout tous les métiers, de la conception à la livraison du produit (Figure 15).

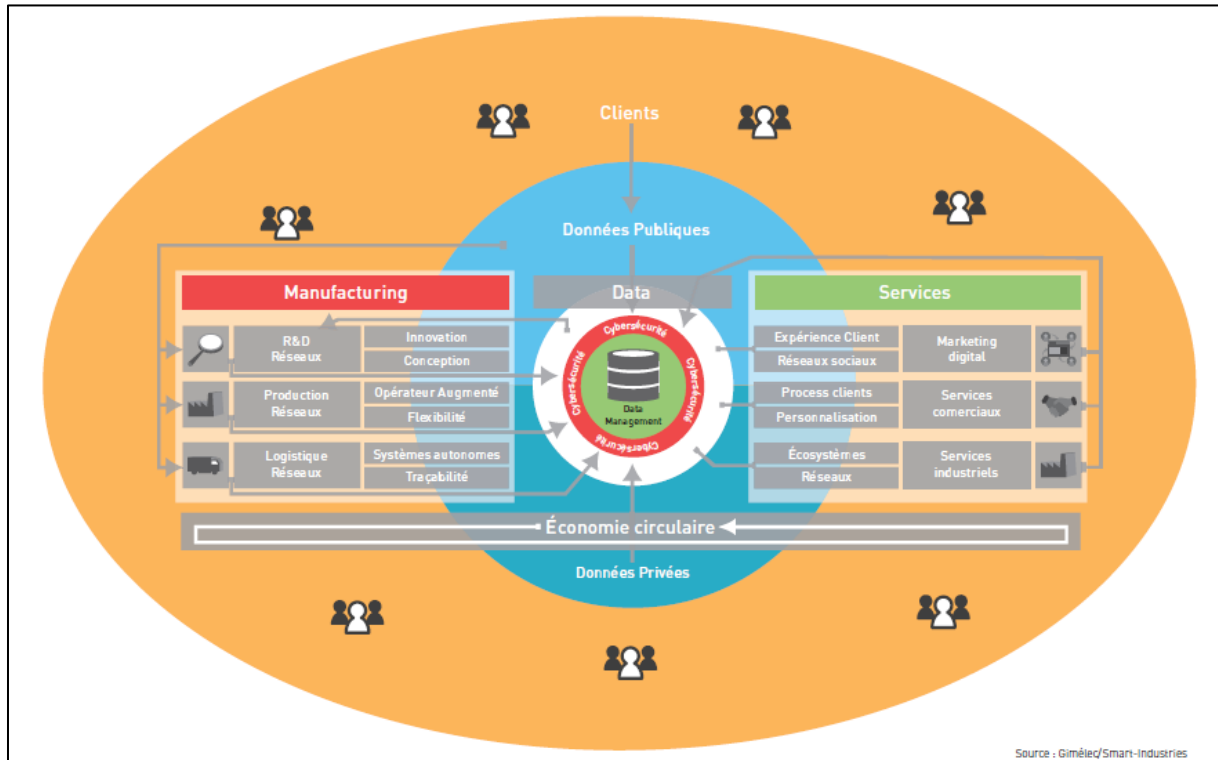


FIGURE 15 : LA DONNEE DANS L'INDUSTRIE DU FUTUR (SOURCE GIMELEC)

- **Conception** : dès le concept initial, la donnée numérique permet d'optimiser la R&D, grâce à la conception assistée par ordinateur (CAO), à la réalité virtuelle et augmentée, à la simulation et à l'utilisation du « jumeau numérique⁵⁷ » (*digital twin*). Le produit est défini, modélisé et testé numériquement. Cela permet d'adapter l'outil de production, de gagner en délais donc en coûts de développement et même d'éviter le prototypage.
- **Production** : la donnée numérique permet la configuration des machines et l'aide à l'opérateur qui change de métier. L'opérateur augmenté supervise et n'agit plus qu'en cas d'écart par rapport au mode nominal défini (processus AMDEC : Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité).
- **Logistique** : elle se numérise, principalement grâce à la technologie de radio-identification (*radio frequency identification*, RFID), qui facilite la gestion des stocks et des flux.

⁵⁶ GIMELEC, op. cit.

⁵⁷ Voir définition annexe 1.

- **Services** : ils évoluent également. Le client se renseigne et achète via internet et fait remonter des informations sur le produit tout au long de sa vie, par exemple via les réseaux sociaux. Les cycles de conception et de production sont eux même touchés. La connaissance du client (via l'analyse des données numériques) permet de personnaliser le produit pour répondre au besoin du client. Les services industriels se modernisent enfin, entre autres avec l'optimisation de la maintenance et de la consommation énergétique.

Le management des données de l'entreprise devient crucial : l'idéal reste le stockage dans un *datalake*⁵⁸, où les données sont stockées sous forme brute ou très peu modifiée, mais à condition que les outils d'analyse associés soient performants : sinon, les données ne sont pas exploitées et risquent d'être perdues. La protection des données est également primordiale, en fonction du besoin d'en connaître. Les entreprises commencent à prendre en compte leur cybersécurité, sous l'impulsion de l'ANSSI.

1.3.2. Leadership et stratégie.

Le leadership joue un rôle essentiel dans la transformation digitale. Il ne s'agit pas seulement de s'approprier de nouvelles technologies mais bien de conduire le changement, pour lequel la définition d'une stratégie est indispensable. Comme l'énonce le titre d'un rapport du *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) sur la transformation digitale : « *Strategy, not Technology, Drives Digital Transformation* »⁵⁹. Ce rapport montre que seule une stratégie globale, claire et cohérente permet d'obtenir une maturité technologique satisfaisante. Sans une direction claire affichée par le leadership, le risque de céder aux effets de modes et de se disperser est grand.

The *Boston Consulting Group* (BCG) a décrit⁶⁰ les quatre phases d'une bonne stratégie de transformation digitale afin de répondre au mieux au double impératif d'intégrer les technologies actuelles tout en se préparant à intégrer celles à venir :

⁵⁸ Voir définition annexe 1.

⁵⁹ KANE Gerald C. (et al.), « Strategy, Not Technology, Drives Digital Transformation », *MIT Sloan Management Review* and Deloitte University Press, July 2015, 29 p.

⁶⁰ KUHN Pierre-Henri (et al.), *Référentiel de la maturité digitale 2017 : ADN de l'entreprise apprenante*, EBG-Elenbi BCG et IBM, 2017, p. 6.

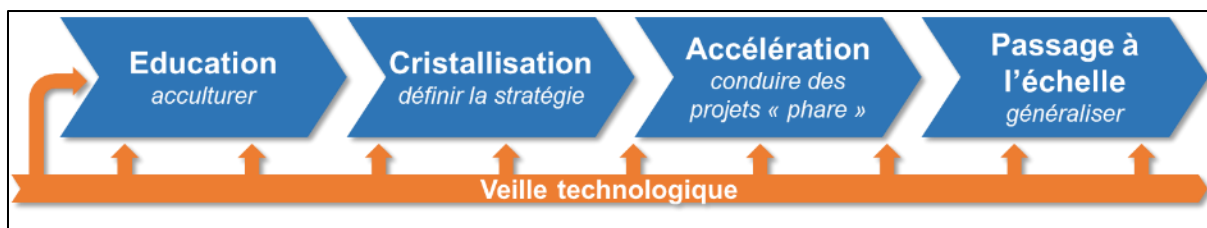


FIGURE 16 : LES 4 PHASES DE LA TRANSFORMATION DIGITALE, SELON BCG.

- **Éducation** : phase de prise de conscience collective de l'état des lieux de l'entreprise et de l'apport possible des nouvelles technologies (acculturation digitale). Il s'agit également pour les dirigeants de définir des objectifs ambitieux et clairs et de dégager les fonds d'investissement nécessaires.
- **Cristallisation** : c'est une phase cruciale de définition d'une politique de la donnée (uniformisation du vocabulaire, définition de standards et de la sémantique de la donnée, choix de l'architecture SI, de la façon dont les données seront traitées, des droits d'accès...), puis de prioriser des technologies sur lesquelles investir (à développer en interne ou à sous-traiter) pour atteindre les objectifs ; il s'agit de ne pas se laisser attirer par les sirènes de technologies insuffisamment matures.
- **Accélération** : lancement de projets « phares » sur des délais courts (3 à 6 mois), afin d'obtenir des preuves de concept (*proof of concept, PoC*)⁶¹, qui valideront le financement de projets plus importants. Si nécessaire, certains projets sont abandonnés ou réorientés. Pour convaincre les employés, il est important de montrer rapidement que des projets aboutissent.
- **Passage à l'échelle** : les innovations digitales sont mises en œuvre à l'échelle de l'entreprise.

Afin de permettre l'efficacité de la transformation, une veille technologique permanente doit étudier les possibilités offertes par les évolutions technologiques.

⁶¹ Voir définition annexe 1.

1.3.3. Changements dans l'organisation et la RH.

La transformation numérique n'amène pas de grand bouleversement dans la structure de l'entreprise. Malgré les divergences d'approche selon les entreprises, quelques principes et problématiques communs se dessinent.

De multiples métiers sont nécessaires à la maîtrise de la donnée numérique et les départements des systèmes d'information (DSI) se cantonnent souvent à la maîtrise d'architecture et à la sécurité (SSI), aussi les entreprises mettent-elles en place des équipes de spécialistes. Le département ressources humaines (RH) enfin doit adapter ses processus.

Mise en place d'une force de frappe numérique

Le DSI, très méthodique et lent, a tendance à « figer » l'organisation. Selon 64 % des dirigeants, l'évolutivité des systèmes d'information est un frein à la transformation⁶². Les DSI sont en effet en charge de l'architecture SI (matériels et logiciels) et de la SSI et sont vus comme des techniciens de l'informatique et non de l'information numérique. Les dirigeants préfèrent donc souvent la nomination d'un *chief digital officer*⁶³ (CDO), à haut niveau de responsabilité, pas toujours en concertation avec les DSI et parfois malgré eux.

Selon une étude⁶⁴ du CIGREF, « *Pour qu'une démarche de valorisation des données puisse se mettre en place et que la « culture donnée » se diffuse dans l'entreprise, il semble indispensable qu'un responsable (CDO ou autre), haut placé dans la hiérarchie :*

- *Orchestre la démarche à tous les niveaux de l'entreprise et dans tous les Métiers,*
- *Ait la responsabilité globale de la gouvernance et de la stratégie sur les données. »*

Le CDO seul est cependant inefficace. Parce que les métiers du numérique sont variés et techniques, les entreprises choisissent souvent de mettre en place des équipes de spécialistes, aux ordres du CDO. Ces équipes sont pluridisciplinaires et transverses. Pluridisciplinaires pour couvrir l'ensemble des compétences nécessaires au développement d'outils numériques : spécialistes des réseaux, des systèmes d'information, *data scientists*, *data miners*, *data analysts*, programmeurs, *designers*, sécurité informatique, juristes... Transverses, parce que la

⁶² COMPUTER SCIENCES CORPORATION (CSC), *Baromètre de la transformation digitale 2016*, étude, 2016, p. 23.

⁶³ Voir définition annexe 1.

⁶⁴ DELAYAT Régis (dir.), *Valorisation des données dans les grandes entreprises : Maturité, pratiques et modèle*, CIGREF, novembre 2016, p. 16.

compréhension de la donnée numérique nécessite des connaissances métier : marketing, production, conception,... La variété et le nombre de spécialistes dépendra des efforts que l'entreprise est prête à consentir pour les objectifs à atteindre.

Ces spécialistes doivent avoir un accès décloisonné à toutes les données de l'entreprise afin d'effectuer les analyses les plus complètes possible.

Cette force de frappe numérique peut agir sur demande des départements (et donc des utilisateurs) ou pour développer des outils prévus dans le plan de transformation digitale, sous la direction du CDO. Afin de répondre le mieux possible au besoin du terrain, il est souhaitable que ces équipes puissent se déplacer et travailler au plus près des utilisateurs.

Le CDO, afin de faire relayer sa stratégie numérique et diffuser la culture digitale dans toute l'entreprise, peut désigner des relais à tous les niveaux et dans tous les départements. Il met alors à la disposition de ces « *Digital Champions* » des *toolkits* (présentations, vidéos explicatives, code sources, ...) qui permettent d'uniformiser la communication et de diffuser rapidement les innovations.

Cette force de frappe numérique peut être enfin adossée à une plateforme numérique, pour interagir avec d'autres spécialistes du numérique : *start-up*, experts indépendants, autres entreprises, écoles et universités... Outre les idées qui peuvent être partagées, ces plateformes permettent de maintenir l'expertise des spécialistes et de contribuer à la veille technologique.

La RH doit s'adapter aux nouvelles générations et aux métiers du numérique

Les RH doivent tout d'abord s'adapter aux changements induits par l'arrivée dans les entreprises de générations « *digitale native* », qui sont nées après la généralisation d'internet : « effet contre-productif des emplois et fiches de poste telle qu'on les connaît généralement, inadaptation des processus d'évaluation de la performance (basés sur des objectifs individuels alors que l'on cherche à évaluer une performance collective), nécessaires évolutions des postures managériales vers l'autonomisation, la confiance, la responsabilisation, l'écoute, la transparence »⁶⁵.

Mais plus que l'adaptation aux nouvelles générations, c'est la variété et l'expertise nécessaire aux métiers du numérique qui obligent les RH à évoluer. Les experts du numérique, dont le

⁶⁵ STRICHER Laurent (dir.), *Le « collaborateur 2020 » : Son profil, ses compétences, quelle politique pour l'attirer et le garder ?*, CIGREF, Paris, Octobre 2016, p. 9.

métier était déjà en 2012 qualifié de « plus sexy du XXIe siècle » par la *Harvard Business Review*⁶⁶, sont une ressource volatile et chère car la demande est importante : les *data sciences* sont en plein essor et font appel à des connaissances pointues et variées (architecture réseaux, statistiques, mathématiques, informatique, ...). En France, le plan « nouvelle France industrielle » prévoit que le *big data* représentera en 2020 un marché de 9 milliards d'euros et 130.000 emplois créés ou maintenus⁶⁷. Une enquête d'IBM aux Etats-Unis montre qu'en 2016 les métiers de *data scientists* étaient rémunérés plus de 100.000 \$ en moyenne (soit plus de 95.000 €)⁶⁸. Parce que les technologies évoluent rapidement, ces spécialistes doivent se tenir au courant des évolutions et suivre régulièrement des formations.

Les entreprises font donc souvent appel à des sous-traitants ou à des contrats courts. Elles définissent des priorités d'embauche dans des secteurs qu'elles estiment stratégiques (pour éviter de dépendre de l'externalisation, ou au minimum être capables de contrôler les produits).

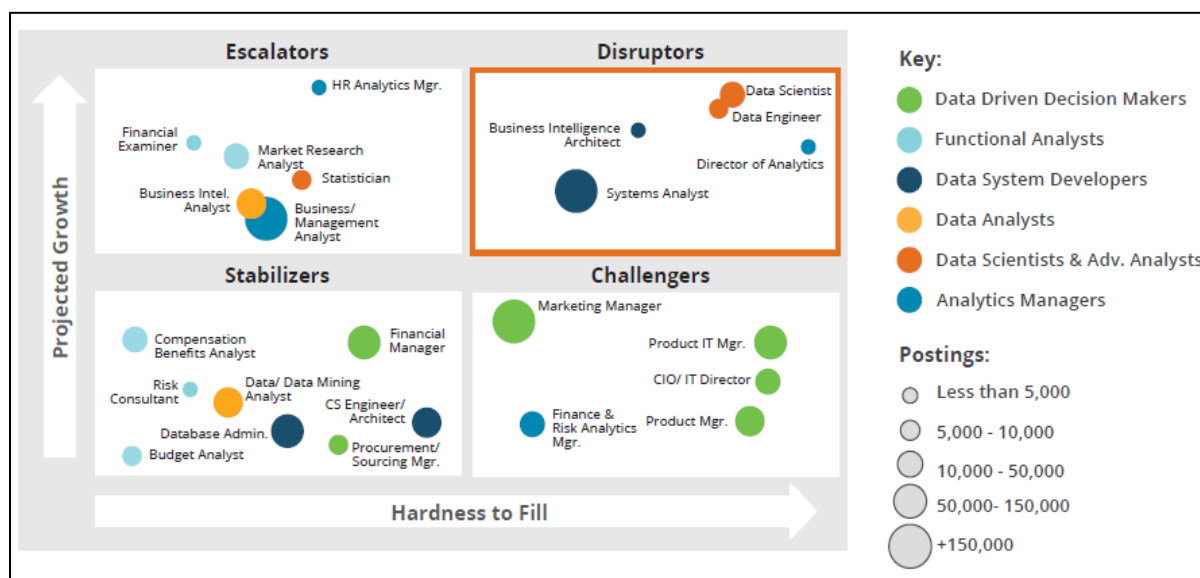


FIGURE 17 : LES METIERS DE LA DONNEE NUMERIQUE, D'APRES IBM⁶⁹

⁶⁶ DAVENPORT Thomas H., PATIL Dhanurjay J., « Data Scientist: The Sexiest Job of the 21st Century », *Harvard Business Review*, Vol. 90, No. 10, October 2012, p.70-76.

⁶⁷ MINISTERE DE L'ECONOMIE ET DES FINANCES, *La nouvelle France industrielle : Présentation des feuilles de route des 34 plans de la nouvelle France industrielle*, septembre 2014, p. 51.

⁶⁸ MARKOW Will (et al.), *The Quant Crunch: How The Demand For Data Science Skills Is Disrupting The Job Market*, IBM & Burning Glass Technologies, 2017, 25 p.

⁶⁹ Id.

2. La numérisation du commandement (*command and control, C2*) des engagements opérationnels interarmées.

D'après la doctrine française, « le commandement opérationnel est un système dont la finalité est de planifier, concevoir, conduire et contrôler des opérations, c'est-à-dire :

- analyser, comprendre et apprécier une situation (observer) ;
- concevoir, organiser (orienter), puis décider (décider) ;
- diriger, c'est-à-dire conduire et coordonner (agir) ;
- apprécier et évaluer les résultats obtenus (*assessment, RETEX*). »⁷⁰

L'ensemble de ces missions nécessite le traitement d'informations, lequel traitement peut être plus ou moins automatisé si les données sont numériques ou numérisées. Avec le potentiel offert par les technologies digitales, la numérisation⁷¹ du commandement des opérations permettrait donc potentiellement d'optimiser le cycle décisionnel, en rapidité et en qualité de prise de décision.

Le C2 est une capacité opérationnelle⁷² (et une des 8 fonctions opérationnelles clés définies par l'OTAN) et peut donc être caractérisée par 6 piliers constitutifs : doctrine, organisation, ressources, équipements, soutien et entraînement (acronyme DORESE). Sa numérisation sera étudiée selon ces piliers.

Le commandement des opérations interarmées au niveau opératif⁷³ doit s'adapter à son environnement et la première numérisation entamée dans les années 90 présente un bilan mitigé ; les enseignements de la transformation digitale des entreprises offrent quelques pistes de réflexion pour celle du C2.

⁷⁰ CICDE, *Commandement des engagements opérationnels*, doctrine interarmées DIA 3 (version NP école de guerre), 2014. Cette DIA est en cours de réécriture.

⁷¹ Voir définition annexe 1.

⁷² Voir définition annexe 1.

⁷³ Voir définition annexe 1.

2.1. La numérisation du C2, solution à sa complexité ?

La numérisation de la chaîne de commandement est potentiellement un atout pour les 5 facteurs de supériorités opérationnels : agilité, combinaison de la supériorité technologique et du savoir-faire opérationnel, maîtrise de l'information, capacité d'agir dans des conditions sortant de la norme et aptitude à faire face à la complexité et à l'évolution des environnements opérationnels⁷⁴.

2.1.1. Le C2, un environnement complexe et un périmètre flou.

Un environnement complexe.

Comme le souligne la doctrine d'emploi des forces⁷⁵, le niveau opératif, émanation du niveau stratégique sur le théâtre d'opérations, est celui de l'interopérabilité avec les Alliés, d'intégration et de coordination des effets produits par l'action des composantes interarmées et d'interaction avec son environnement. Conséquence de nouvelles formes de conflictualité, l'imbrication des acteurs et des facteurs de crise (dont le continuum sécurité-défense) impose une vision globale. Le spectre des opérations a considérablement augmenté avec l'adoption de l'approche globale, puisqu'outre le domaine militaire, celle-ci couvre désormais les domaines politiques, sociaux, économiques, géographiques, médiatiques, juridiques...

⁷⁴ CICDE, *Concept d'emploi des forces*, Concept interarmées CIA-01(A)_CEF(2013), N° 130/DEF/CICDE/NP du 12 septembre 2013, p. 18.

⁷⁵ CICDE, *Doctrine d'emploi des forces*, Doctrine interarmées DIA-01(A)_DEF(2014), N° 128/DEF/CICDE/NP du 12 juin 2014, p. 21.

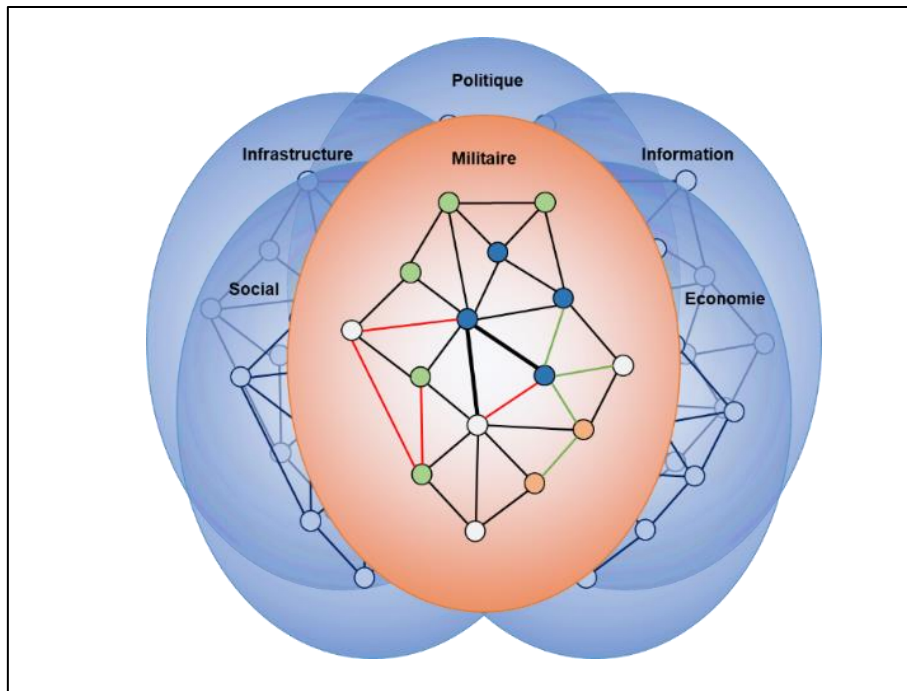


FIGURE 18 : ENVIRONNEMENT DES OPERATIONS, D'APRES OTAN AJP-2(A)

De plus, les progrès des technologies de l'information et de la communication (TIC) ont, d'une part, contribué à accélérer le tempo opérationnel avec la facilitation de la transmission de l'information et, d'autre part, à relativiser les distances, intra-théâtre ou entre le théâtre et la métropole. Elles ont de façon paradoxale largement complexifié la prise de décision avec la nécessité de prendre en compte des informations de plus en plus nombreuses. Elles permettent enfin à l'adversaire qui les maîtrise de compenser son éventuelle faiblesse.

L'ensemble du système de commandement a évolué pour s'adapter à la réalité des opérations sur tout le spectre DORESE. L'évolution la plus visible reste celle de l'organisation : les états-majors ont vu la création de nombreuses cellules (ciblage, effets, influence, management de l'information...) et donc leur taille augmenter considérablement. L'organisation, initialement hiérarchique puis matricielle, est devenue peu lisible. L'accroissement du nombre de ces capacités opérationnelles, qui demande chacune une capacité de gestion propre, augmente le besoin de coordination au niveau supérieur.

Un périmètre flou.

Le périmètre des responsabilités du commandement opérationnel au niveau opératif est de plus en plus flou et le COMANFOR n'a pas la pleine autorité sur l'ensemble des forces agissant sur son théâtre.

Une première explication tient des différences culturelles des composantes. Chaque armée a une approche propre de la façon dont les opérations doivent être planifiées et conduites, en fonction de leur rapport à la technologie, de leurs vecteurs et capacités. Ainsi l'armée de l'Air est nativement technologique et son emploi est fortement contraint par le facteur temps, nécessitant une prise de décision en boucle courte (rapidité et allonge des avions). Faute de vecteurs en nombre suffisant, elle a mutualisé l'emploi de ses moyens (police du ciel, entraînement et opérations) au plus haut niveau (un chasseur peut assurer la police du ciel un jour et le lendemain remplir une mission au profit de Barkhane). Culturellement orientée vers le haut de spectre des opérations (DAMB⁷⁶, raid nucléaire, poids stratégique du chasseur), la composante aérienne s'est donc naturellement rapprochée du niveau stratégique (le PC de la composante aérienne de Barkhane, le JFAC, est mutualisé avec celui des autres opérations, à Lyon Mont-Verdun). D'autres composantes ou spécificités : forces spéciales, cyber, espace, ciblage large spectre, influence, etc. si elles apparaissent toujours sous le niveau opératif, sont en réalité et par leur nature commandées par le niveau stratégique qui conserve la priorité de leur emploi⁷⁷. Les liens de subordination diffèrent donc selon les besoins opérationnels et les caractéristiques des espaces.

Les TIC ont tendance à accroître cette intrusion du stratégique au niveau opératif, voire au niveau tactique (facilité de circulation et de traitement de l'information). Les opérations vivent en partie au rythme politico-médiatique et les conséquences des actions tactiques ont parfois des répercussions stratégiques en temps quasi-réel (le fameux « caporal stratégique »), incitant le niveau stratégique à donner des ordres tactiques. C'est ce que Donald Rumsfeld, secrétaire d'Etat à la Défense américain de 2001 à 2006, avait appelé le « *8.000-mile-long screwdriver* »⁷⁸.

Un autre facteur de brouillage des responsabilités du niveau opératif est l'imbrication des opérations et de l'organique. Cela est naturel pour le cyber, en guerre permanente, mais également pour l'armée de l'Air et la Marine, avec les postures permanente aérienne et maritime, ainsi que la dissuasion. Cela l'est devenu récemment pour l'armée de Terre avec la mise en place de la posture permanente – Terre.

⁷⁶ Défense anti-missile balistique.

⁷⁷ C'est la notion de « commandement spécialisé » : commandement des opérations spéciales (COS), commandement interarmées de l'espace (CIE), commandement de cyberdéfense (COMCYBER).

⁷⁸ Littéralement « tournevis de 8000 miles de long ».

Enfin, les opérations sont désormais presque toutes multinationales. Malgré les efforts de certaines alliances (OTAN, UE...) pour rendre interopérables les différentes armées, chacune possède encore ses règles de fonctionnement propres et souverains. Les nations contributrices définissent des exceptions (« *caveat* ») et maintiennent une chaîne de contrôle national sur leurs forces engagées.

2.1.2. Un équilibre à trouver ou le C2 « agile ».

La capacité opérationnelle exigée du commandement interarmées évolue en fonction de l'opération et de son environnement.

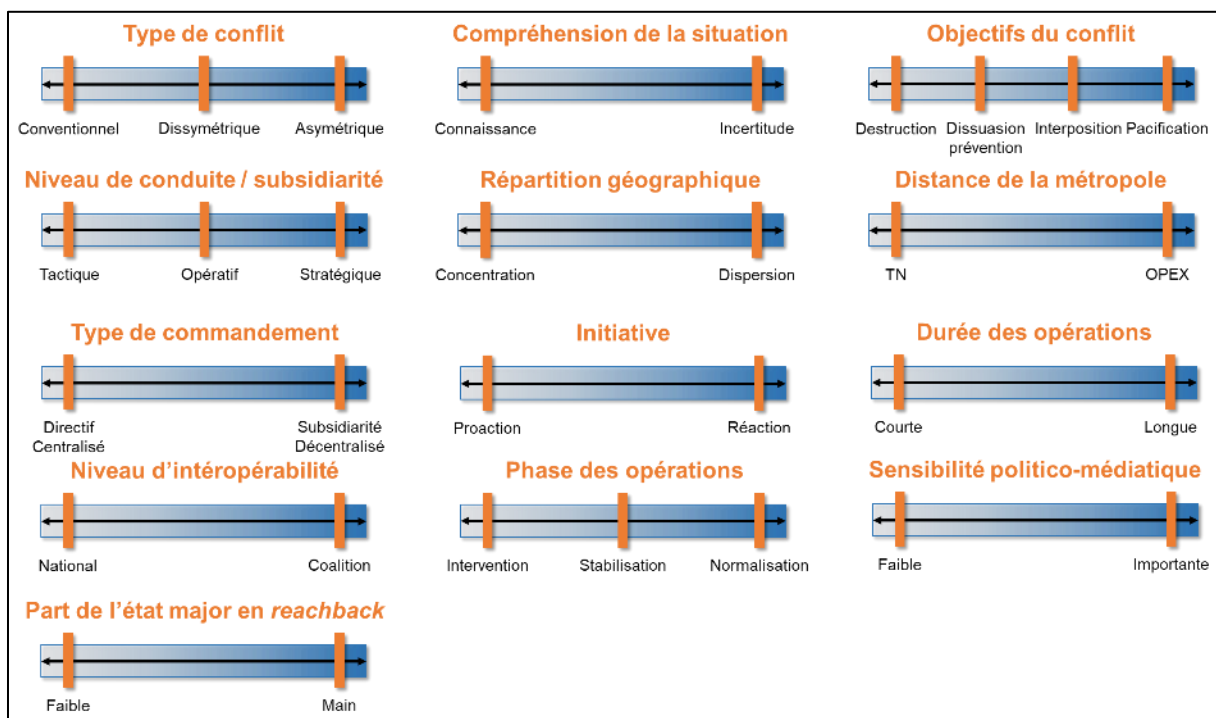


FIGURE 19 : EQUILIBRE ET FLEXIBILITE DU C2, D'APRES LEONHARD⁷⁹.

Pour gagner en efficacité opérationnelle, le C2 doit s'adapter, en fonction des circonstances (la Figure 19 tente de montrer l'éventail des situations auxquelles le C2 doit s'adapter). Le concept de « C2 agile », adopté par l'OTAN en 2014 puis par les Britanniques en 2017⁸⁰, veut répondre à cette problématique : « l'agilité est la capacité à effectuer, gérer et/ou exploiter

⁷⁹ LEONHARD Robert R. (dir.), « A Concept for Command and Control », *Johns Hopkins APL Technical Digest*, Vol. 29, No 2, 2010, p. 157-170.

⁸⁰ DEVELOPMENT, CONCEPTS AND DOCTRINE CENTRE (DCDC, UK Ministry of Defence), *Future of C2*, Joint Concept Note JCN 2/17, Shrivenham, September 2017.

avec succès les changements de circonstance. Alors que d'autres facteurs influencent également les résultats, l'agilité du C2 permet aux entités d'employer de manière efficace et efficiente les ressources dont elles disposent en temps opportun dans une variété de missions et de circonstances »⁸¹. L'agilité est un des facteurs de supériorité opérationnelle définis dans le concept d'emploi des forces⁸². Appliquée au commandement opérationnel, elle nécessite réactivité, polyvalence, flexibilité, résilience, innovation et adaptabilité⁸³.

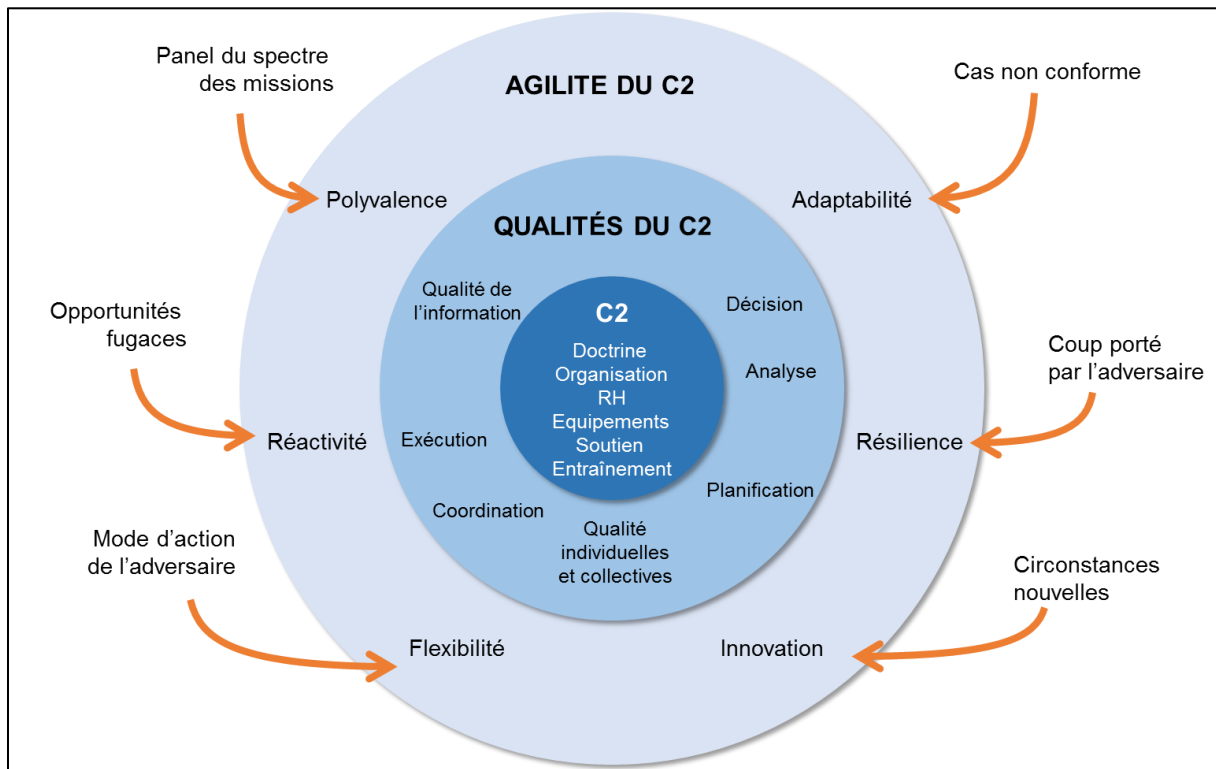


FIGURE 20 : AGILITE DU C2, D'APRES D. ALBERTS⁸⁴

L'Américain Daniel S. Alberts a tenté de décrire la façon d'évaluer l'agilité d'un système de commandement. Partant des travaux de deux psychologues⁸⁵ qui sur la base d'une expérience ont prouvé qu'une organisation hiérarchique n'était pas la plus efficace pour résoudre un

⁸¹ ALBERTS David S. (dir.), *Command and Control (C2) Agility*, NATO Science and Technology Organization Technical Report STO-TR-SAS-085, October 2014, p. 19.

⁸² CICDE, *Concept d'emploi des forces*, Concept interarmées CIA-01(A)_CEF(2013), N° 130/DEF/CICDE/NP du 12 septembre 2013, p. 7.

⁸³ Ces 6 facilitateurs d'agilité sont décrits dans SAS-085 (op.cit.), p.54.

⁸⁴ ALBERTS David S., HAYES Richard E., *Understanding Command and Control*, Washington, CCRP Publication Series (The Future of Command and Control), Washington DC, 2006, p. 187.

⁸⁵ LEAVITT Harold J., BAHRAMI Homa, *Managerial Psychology: Managing Behavior in Organizations*, University of Chicago Press, 1988, 353 p.

problème complexe, il a montré⁸⁶ que les nouvelles technologies offraient la possibilité d'organisations plus efficaces, qu'il appelle « *edge organizations* ». Ces organisations sont caractérisées par un partage généralisé de l'information, donc un décloisonnement complet de l'information et par la prédominance des relations d'égal à égal. Ce qui rejoint les « *teams of teams* » du général McChrystal⁸⁷ et dans une certaine mesure le combat collaboratif de Scorpion (voir Figure 21).

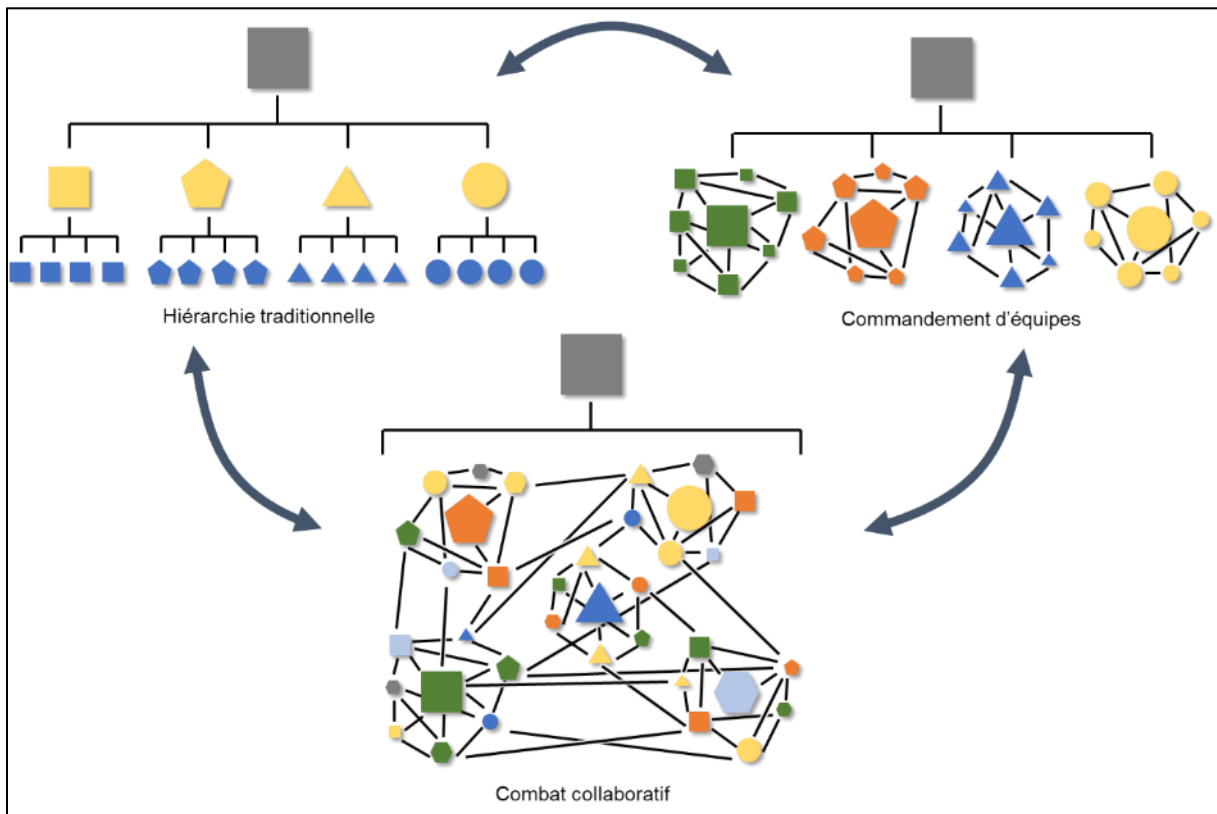


FIGURE 21: ADAPTATION DE *TEAM OF TEAMS* AU COMBAT COLLABORATIF.

Afin d'évaluer le degré d'agilité atteint par un système de C2, Daniel S. Alberts a défini⁸⁸ trois facteurs clés définissant l'essence même du C2, ainsi que trois dimensions correspondantes (voir Figure 22): l'attribution des droits de décision (rapidité à changer), les modèles d'interaction entre les cellules (degré de connaissance mutuelle) et le partage de l'information (niveau d'information atteint).

⁸⁶ ALBERTS David S., HAYES Richard E., *Power to the Edge: Command and Control in the Information Age*, CCRP Publication Series (Information Age Transformation Series), Washington DC, 2003, 259 p.

⁸⁷ McCHRISTAL, op. cit.

⁸⁸ ALBERTS David S., HAYES Richard E., *Understanding Command and Control*, Washington, DoD Command and Control Research Program (CCRP) (The Future of Command and Control), 2006, p.74-75.

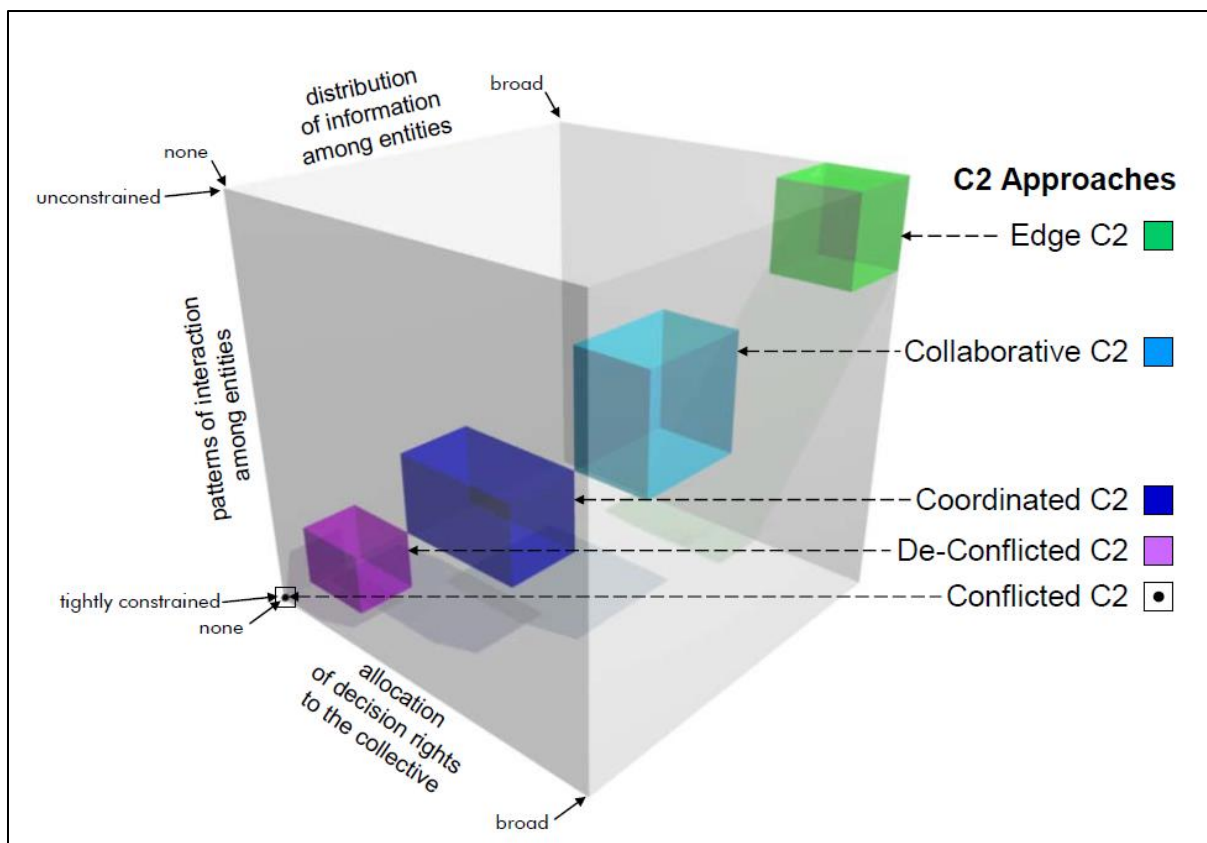


FIGURE 22 : CONCEPTION DU C2 (SAS-085)

Ce concept de C2 « agile » et l'évaluation proposée par Daniel S. Alberts ont été adoptés par l'OTAN (SAS-065⁸⁹ et SAS-085⁹⁰).

Mais si l'agilité permet de contourner la complexité du champ de bataille, sa mise en œuvre n'est pas évidente : si la fin est bien définie, les moyens concrets ne le sont pas.

2.1.3. L'idéalisation de la numérisation.

Dans *Action terrestre future*, l'armée de Terre fait également de l'agilité un de ses huit facteurs de supériorité opérationnelle : « ce besoin militaire a déjà été exprimé. Il s'incarne progressivement par la numérisation des unités qui devra reposer sur des architectures de systèmes d'information et de communication performantes afin d'atteindre l'infovalorisation

⁸⁹ ALBERTS David S., HUBER Reiner K., MOFFAT James, *NATO NEC C2 Maturity Model*, CCRP Publication Series, NATO SAS-065, February 2010, 205 p.

⁹⁰ ALBERTS David S. (dir.), *Command and Control (C2) Agility*, NATO Science and Technology Organization Technical Report STO-TR-SAS-085, October 2014, 200 p.

qui seule permettra le combat collaboratif »⁹¹. Cette vision de la numérisation s'inscrit dans le concept d'infodominance, qui veut que désormais, après la victoire par le mouvement, le choc et le feu, c'est par l'information que se gagneront les guerres : « le combat aéroterrestre futur, caractérisé par la domination informationnelle et la précision des effets, pourrait faire émerger trois modes opératifs : la conduite partagée comme source clé de la liberté d'action, la décentralisation du combat nécessaire pour acquérir la concentration des efforts et la combinaison des vecteurs comme facteur d'économie des moyens. »⁹²

La numérisation, si elle facilite d'une certaine façon l'entrisme du niveau supérieur, offre cependant au chef la liberté d'action par une vision en temps réel de la situation tactique et par l'anticipation permise par les capacités de partage, d'analyse du renseignement, en temps quasi-réel. Le champ de bataille serait ainsi rendu transparent, la *Common Operating Picture* partagée facilitant la *Situational Awareness*⁹³.

L'augmentation de la précision des armes limite le rôle de la masse au profit des effets : d'une part car la qualité remplacerait la quantité, permettant de cibler les effets souhaités, d'autre part en forçant à la décentralisation du combat, à la dispersion géographique pour la sauvegarde. La virtualisation du combat, avec le cyber, augmenterait ce phénomène. La concentration des efforts s'effectuerait donc par la synchronisation des effets produits pour atteindre l'objectif.

La numérisation permettrait également d'économiser les moyens, en optimisant leurs effets ; l'objectif devrait être atteint par la concentration d'effets produits par les forces justes nécessaires, dont la coordination serait optimisée par l'outil numérique.

Le général Guy Hubin a décrit dans *Perspectives tactiques* sa vision du combat futur⁹⁴, qui préfigurerait le combat collaboratif de Scorpion : les niveaux d'exécution seront connectés en réseaux, ce qui leur permettrait d'échanger des informations horizontalement et de se coordonner sans dépendre du niveau supérieur (disparition des limites de coordination entre unités). Ils pourraient alors se concentrer sur les effets à produire à temps sur l'objectif que le

⁹¹ ETAT-MAJOR DE L'ARMÉE DE TERRE, *Action Terrestre Future : Demain se gagne aujourd'hui*, 2016, p. 35.

⁹² DORANGE Claude (et al.), « Les NTIC et les transformations du champ de bataille », *Les Cahiers du numérique*, Vol. 3, No. 2002/1, p.78.

⁹³ Voir à ce sujet : CEBROWSKI Arthur K., GARSTKA John J., « Network-Centric Warfare: Its Origin and Future », *United States Naval Institute (Proceedings 124)*, No. 1, January 1998, p. 28-35.

⁹⁴ HUBIN Guy (général), *Perspectives tactiques*, Economica, 3^{ème} ed., 2009, 179 p.

niveau supérieur se contenterait de définir et de synchroniser. De plus, la numérisation permettrait de configurer et reconfigurer les groupements tactiques (prélèvements-renforcements) plus facilement, la force pourrait donc être taillée au plus juste.

Mais c'est surtout l'accélération du cycle décisionnel (la fameuse boucle OODA⁹⁵) qui ferait de la numérisation un moyen d'acquies la supériorité opérationnelle : décider plus vite permettrait non seulement d'agir avant l'ennemi, mais également d'empêcher l'ennemi de prendre des décisions efficaces, puisqu'il baserait sa réflexion sur des informations obsolètes. C'est sur ce postulat que les forces armées singapouriennes développent leur numérisation, IKC2 (*Integrated Knowledge-based Command and Control*) : « *IKC2 therefore aims to exploit C4IT technologies to ensure that not only does one's OODA operate faster than the adversary's, but also that we are able to effectively disrupt the adversary's OODA cycle.* »⁹⁶

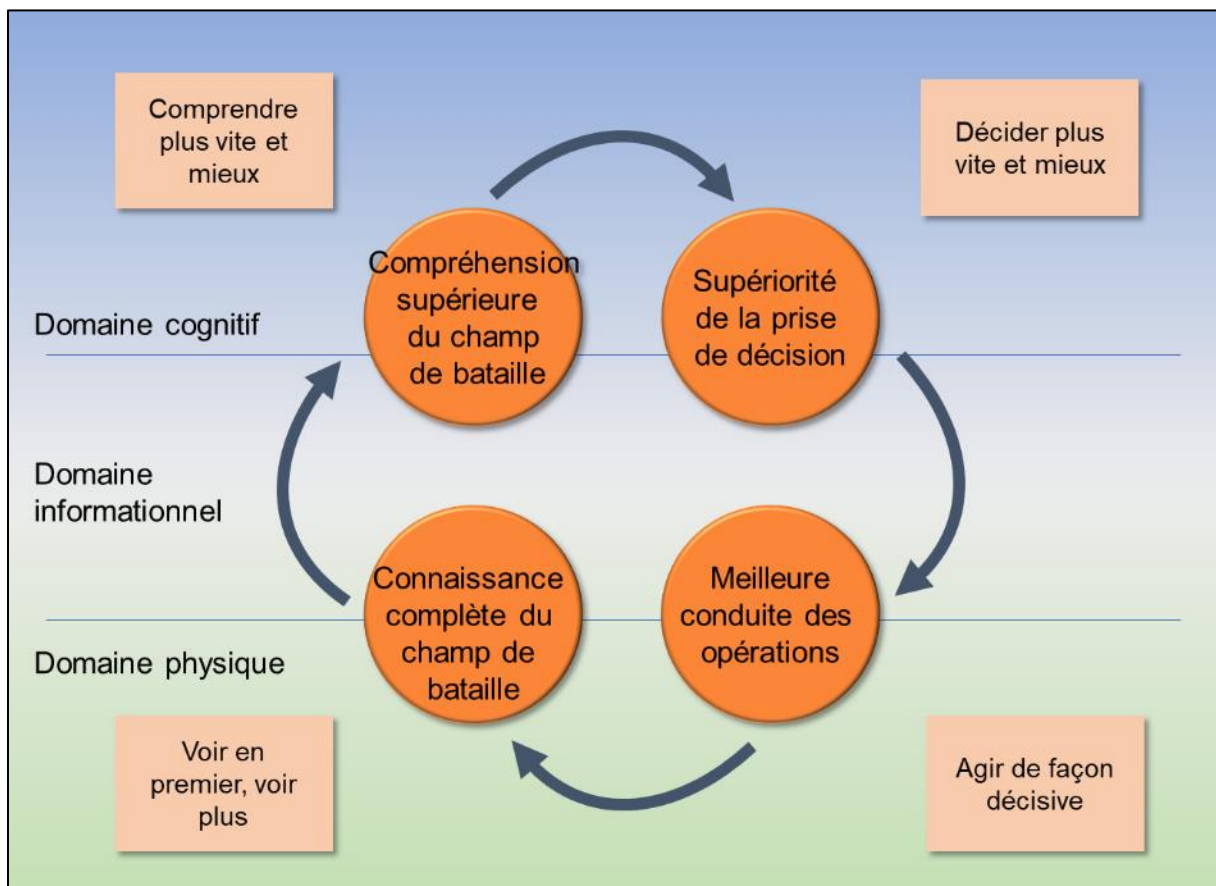


FIGURE 23 : ACCELERATION DU CYCLE DECISIONNEL, D'APRES IKC2⁹⁷

⁹⁵ Boucle OODA : *Observe, Orient, Decide, Act*. Concept inventé par le pilote de l'US Air Force John Boyd dans les années 60, décrivant le processus itératif de prise de décision.

⁹⁶ SINGH Ravinder (Colonel, dir.), « IKC2 for the SAF : Organising around knowledge », *Pointer*, Journal of the Singapore Armed Forces, 2003, p. 12-17.

⁹⁷ Id.

Cet idéal de la numérisation est ce que le Lt Col Dave Lyle, de l'US Air Force, appelle « la partie visible de l'iceberg C2 »⁹⁸. Mais la guerre reste une activité sociale humaine trop complexe pour être un jour entièrement modélisée ou mise en algorithmes. « *To believe that the wars of the future, thanks to some extraordinary technological advances yet to take place in such fields as computers or remotely controlled sensors, will be less opaque and therefore more subject to rational calculations than their predecessors is, accordingly, sheer delusion.* »⁹⁹. La technologie ne supprimera pas totalement le brouillard de la guerre, même si elle pourra l'atténuer. De plus, conséquence de la masse d'informations disponibles sur lequel le chef se fondera pour prendre sa décision, le risque de paralysie de la décision (ou refus du risque) existe : « le chef pourrait être tenté d'attendre la dernière information qui permettrait de diminuer au maximum la part de l'intuition, ou de la subjectivité, dans sa décision. »¹⁰⁰.

Consciente de ses limites, les armées ont cependant placé beaucoup d'espoirs dans la numérisation et sa promesse de supériorité opérationnelle.

2.2. Les limites de la numérisation.

Dès avant la guerre du Golfe, les armées modernes ont pris conscience de l'importance de l'information et de la supériorité opérationnelle offerte par la technologie. A la suite des Américains et de leur *Network Centric Warfare* (NCW) lancé à la fin des années 90, puis de la *Network Enabled Capability* (NEC) des Britanniques et de l'OTAN, les armées françaises ont entamé leur numérisation.

Mais cette numérisation, cadrée par des impératifs et contraintes propres aux opérations, est aujourd'hui freinée par des limites tant structurelles que culturelles.

⁹⁸ LYLE Dave (lieutenant-colonel), « The Rest of the C2 Iceberg », *Air & Space Power Journal*, Jummy-August 2014, p. 56-91.

⁹⁹ VAN CREVELD Martin L., *Command in War*, Harvard University Press, 1985, p. 266.

¹⁰⁰ DORANGE, op. cit., p.81.

2.2.1. Les impératifs et contraintes de la numérisation.

La numérisation du C2 est contrainte par la nécessaire interopérabilité des SI, la menace cyber, le principe de subsidiarité ou la place de l'Homme dans les systèmes de commandement.

L'interopérabilité.

L'impératif d'interopérabilité des SIOC se situe à deux niveaux.

Au niveau interarmées (et interarmes), la nécessité de faire communiquer les SI des différentes armées et fonctions opérationnelles se heurte aux divers standards de la donnée utilisés et aux logiques divergentes des différents industriels développeurs¹⁰¹. La mise en place de SIA, avec son socle commun et ses briques métiers, est censée répondre à cette problématique¹⁰².

Au niveau interallié, l'OTAN a pris en compte le manque de communication des SI, avec la mise en place d'AMN (*Afghan Mission Network*) sur le théâtre afghan pour pallier le manque de capacités techniques d'interopérabilité et limiter les conséquences des multiples normes et restrictions nationales en termes de partage d'information. L'OTAN a donc lancé en 2012 le programme FMN (*Federated Mission Networking*), qui construit de façon incrémentale les normes et standards des SI des alliés en identifiant parmi les standards existants les plus pertinents.

Cette définition de standards normatifs par l'OTAN a le mérite d'obliger les SI des armées et des fonctions opérationnelles à converger, malgré le risque de se voir imposer des procédures non souhaitées. Encore faudra-t-il que le SIA suive le rythme des normes édictées par FMN.

L'interopérabilité est enfin facilitée si l'ensemble des acteurs est numérisé. Ainsi, la connaissance de la situation amie (qui permet entre autres de limiter les tirs fratricides)

¹⁰¹ « La réforme des SIC (systèmes d'information et de communication) est un enjeu fondamental. [...] au fil des années, les SIC de la défense se sont complexifiés et ont abouti à une juxtaposition de multiples systèmes. On compte, par exemple, 10 000 serveurs répartis dans 160 sites et 18 messageries. Cette sédimentation constitue un indiscutable frein à la poursuite de l'interarmisation et une source de gaspillage financier et humain. » Compteur de l'audition de l'amiral Christian Pénillard, directeur général des systèmes d'information et de communication (DGSIC) du ministère de la défense, 13 janvier 2010, par la commission des affaires étrangères, de la défense et des forces armées.

¹⁰² COSQUER Christian (général 2S, dir.), GOETZ Pierre, CAHUZAC-SOAVE Olivia, *Le programme SIA : changement de paradigme pour l'armée du futur*, CEIS (Les Notes Stratégiques), décembre 2013, 28 p.

nécessite de suivre « manuellement » la position de tous les subordonnés ou amis non équipés de GPS et de SI.

Résilience et cyberdéfense.

Avec la numérisation naissent de nouvelles menaces et de nouvelles vulnérabilités pour les systèmes de commandement. Que ce soit en raison d'attaque cyber ou de panne informatique, les questions de résilience, de protection de l'information et de défense des réseaux se posent.

La résilience¹⁰³ du commandement impose une réflexion sur le mode dégradé : sait-on et peut-on encore faire sans la technologie numérique ? Richard Danig, vice-président de la *Rand Corporation*, rappelait en décembre 2014 : « *merge your system with something that is analog, physical or human so that the system, if subverted digitally, has a second barrier to get over* »¹⁰⁴. Les conséquences en termes de formation et d'entraînement du personnel sont importantes : en plus du temps passé à la formation à l'emploi des outils numériques, il reste indispensable de s'entraîner « à l'ancienne ». Les durées de formation ne vont donc pas diminuer.

La résilience du commandement impose la rusticité des outils. Mais des spécifications trop contraignantes (conditions d'emploi, SSI) augmentent les prix des équipements et l'utilisation de composants civils, éventuellement consommables, est une solution intéressante. La redondance des réseaux, malgré la convergence vers le tout IP, répond en partie à cet impératif de résilience.

La sécurité de l'information reste structurante dans la définition des SI. Les données doivent pouvoir être authentifiées, tracées et leur confidentialité et leur intégrité respectées. La classification des informations reste obligatoire, liée au « besoin d'en connaître ». Toute nouvelle technologie doit être passée au crible « SSI » pour éviter de créer des vulnérabilités.

La subsidiarité ou l'indispensable autonomie du subordonné.

Le principe de subsidiarité veut que le supérieur n'effectue que les tâches qui ne peuvent être effectuées par les échelons subordonnés. Avec l'écrasement des niveaux dû à l'intrusion du

¹⁰³ Voir définition annexe 1.

¹⁰⁴ « Fusionnez votre système avec quelque chose d'analogique, de physique ou d'humain pour que le système, s'il est subverti numériquement, ait une seconde barrière qu'il faille franchir ». PETERSON Andrea, « Cybersecurity fears are making U.S. sailors learn to navigate by the stars again », *WashingtonPost*, 14 October 2015, <https://www.washingtonpost.com/news/the-switch/wp/2015/10/14/cybersecurity-fears-are-making-u-s-sailors-learn-to-navigate-by-the-stars-again/>

stratégique dans la conduite des opérations (§2.1.1.), rendu possible par les TIC, ce principe peut sembler remis en cause, entravant la liberté d'action des échelons subordonnés, voire les déresponsabilisant¹⁰⁵.

Cependant la possibilité pour les subordonnés de se coordonner directement – c'est l'idée du combat collaboratif de Scorpion – redonne aux échelons tactiques une partie de leur autonomie. Leur supérieur n'a plus qu'à contrôler l'exécution des ordres donnés, leur conformité à sa propre intention et à leur fournir les appuis et le soutien nécessaires.

Si les supérieurs doivent veiller à ne pas contraindre la manœuvre de leurs subordonnés et à leur garantir les moyens nécessaires à leur autonomie d'appréciation, les subordonnés doivent quant à eux prendre conscience que les échelons supérieurs ont toute légitimité à leur imposer des décisions, quitte à contourner des échelons intermédiaires. En particulier, les échelons supérieurs peuvent avoir une vision de la situation plus complète voire plus précise, et avoir davantage conscience des contraintes de niveau opératif ou stratégique.

Le partage d'autorité et la distanciation du combat.

Avec les progrès de l'informatique décisionnelle et de l'intelligence artificielle et la possibilité offerte par les TIC de donner des ordres à distance, se pose la question de la place de l'Homme.

L'automatisation du traitement de l'information remet en cause la place de l'Homme dans la boucle décisionnelle, comme l'illustre la notion de partage d'autorité, qui cherche à répartir les tâches entre homme et machine. Garder « l'Homme dans la boucle » est aujourd'hui un impératif (sociétal, juridique et moral), même si les progrès de l'intelligence artificielle s'accompagnent d'une confiance en la machine toujours plus grande : qui remettrait en cause les bienfaits du pilotage automatique à bord d'un avion ? Les Israéliens ont ainsi maintenu un opérateur humain pour leur système de défense anti roquette/obus « Dôme de fer », même s'il existe un mode automatique et que, face à des missiles hyper véloces par exemple, les délais de réaction de l'opérateur humain (2s dans le cas de Dôme de fer) seraient trop long. Dans des cas « simples » comme la défense anti-missile, l'automatisation complète de la chaîne de décision est possible. Mais étant données la complexité de l'environnement du C2 et les

¹⁰⁵ HENRIOUD Audrey, MAUPEOU Martin de, PAUQUET William, *Rythme des opérations et nouvelles technologies : Le processus décisionnel français à l'épreuve*, CEIS (Les Notes Stratégiques), décembre 2015, 28 p.

conséquences potentielles d'une mauvaise décision, seul un humain, le chef, peut en toute conscience assumer les responsabilités de cette décision. L'automatisation viendra au fur et à mesure de l'avancée et de la fiabilisation des algorithmes : circulation de l'information, analyse de données... Pour les décisions importantes, les machines proposeront des solutions, mais le choix final demeurera humain.

Les nouvelles technologies de la communication permettent de commander à distance : communication satellite, VTC, salles de réunion virtuelles (réalité augmentée ou virtuelle). L'utilité de déployer sur le théâtre certaines fonctions de commandement n'est plus évidente ; il serait possible d'économiser des moyens (financiers et humains) en gardant en métropole (en *reachback*) une partie du poste de commandement interarmées de théâtre (PCIAT), voire des états-majors subordonnés. L'*Allied Rapid Reaction Corp* (ARRC, état-major britannique) a ainsi testé en novembre 2017, au cours d'un de ses exercices, ARRCADÉ FUSION 2017¹⁰⁶, le déploiement d'un PC tactique de niveau corps d'une soixantaine de personnel, le *main HQ* n'étant pas projeté et restant en base arrière. Une problématique du *reachback* reste le moral du personnel qui, engagé dans une opération, demeurant en métropole, a un mode de vie trop différent de celui des troupes au contact. Il y a d'abord un risque de démotivation du personnel concerné (manque de reconnaissance ?), mais aussi celui d'une virtualisation du combat, vécu par écrans interposés, sans aucune interaction directe possible avec la troupe. La problématique des différences de fuseaux horaires est également à prendre en compte. Enfin quelle que soit la part de l'état-major en *reachback*, le commandant de la Force, parce qu'il est de sa responsabilité d'interagir avec les acteurs locaux en tant que représentant de la Force, doit être physiquement présent sur le théâtre.

Le travail en équipe nécessite la confiance et donc la préservation des relations humaines : *«trust is an important component of effective teamwork. If team members do not trust one another, the team will not function smoothly. The question is then whether ad hoc distributed teams, whose members retain a high level of anonymity due to lack of socialization, will be able to build a degree of trust similar to that obtained by teams operating in a face-to-face environment. The same question arises with respect to leadership, which, despite calls of "power to the edge," will continue to play a critical role in military operations. [...] Needless to say, a willingness to risk one's life for a commander is less likely to be inculcated by an*

¹⁰⁶ ARRC, 2017 NATO Response Force, 31 January 2018, <https://arrc.nato.int/operations/previous/2017-nato-response-force>

instant messaging session than by personal dealings »¹⁰⁷. Ainsi, les chefs du JFAC AFMO¹⁰⁸ se rendent une fois par mois à Barkhane pour rencontrer leurs interlocuteurs sur le théâtre. La proximité physique facilite la communication et les relations de commandement et permet de mieux apprécier l'état moral et physique des troupes.

Le respect des limites cognitives humaines.

Parce que la décision restera humaine, les interactions homme-machine doivent prendre en compte les limites de la cognition humaine, parmi lesquelles le risque de saturation du chef face aux informations. Ainsi, d'après le professeur britannique John Storr, le chef militaire ne base ses décisions que d'après 5 ou 6 informations : « *critically, battlefield decision-making is not information-intensive; it is information-sensitive.* »¹⁰⁹. De même, l'armée de Terre considère qu'au-delà de cinq pions de manœuvre, le chef ne peut commander efficacement.

Cet impératif est déjà pris en compte dans la conception des équipements (c'est le travail des ingénieurs cogniticiens) mais la complexité et la technicité des équipements continuant de croître, les interfaces homme-machine (IHM) devront également progresser pour permettre une utilisation la plus intuitive possible de ces équipements.

2.2.2. Les freins à la numérisation.

Les freins à la numérisation, tant structurels que culturels, sont nombreux.

¹⁰⁷ « La confiance est un élément important d'un travail d'équipe efficace. Si les membres de l'équipe ne se font pas confiance, l'équipe ne fonctionnera pas correctement. La question est alors de savoir si les équipes distribuées ad hoc, dont les membres conservent un haut niveau d'anonymat en raison du manque de socialisation, pourront construire un degré de confiance similaire à celui obtenu par les équipes opérant dans un environnement en face-à-face. La même question se pose en ce qui concerne le leadership, qui, malgré les appels au «power to the edge», continuera à jouer un rôle crucial dans les opérations militaires. [...] Inutile de dire que la volonté de risquer sa vie pour un commandant est moins susceptible d'être inculquée par une session de messagerie instantanée que par des relations personnelles. » BOLIA Robert S., VIDULICH Michael A., NELSON W. Todd, *Unintended Consequences of the Network-Centric Decision Making Model: Considering the Human Operator*, Technical paper, Air Force Research Laboratory, Wright-Patterson Air Force Base, February 2006, p. 10.

¹⁰⁸ *Joint Force Air Component Command* – Commandement de la composante air de la force interarmées – de l'Afrique – Moyen-Orient.

¹⁰⁹ STORR Jim, *Human Face of War*, A&C Black (Birmingham War Studies, Vol. 9), London, 2011, 256 p.

- Les freins structurels

Le rôle structurant des SI.

« L'architecture informatique des réseaux de communications est de plus en plus centralisée et complexe à maîtriser pour les professionnels des systèmes d'information et peut pénaliser la manœuvre et donc la liberté d'action du chef militaire »¹¹⁰. Les SI opérationnels jouent un rôle structurant dans la capacité C2, en tant qu'équipement principal de cette capacité, mais surtout par les contraintes de rigidité que l'architecture SIC impose à l'architecture du C2.

Malgré les progrès réalisés dans ce domaine, les flux de données restent limitant¹¹¹, obligeant les opérateurs à sélectionner les informations à transmettre, voir à différer leur transmission. Ce qui *de facto* empêche pour le moment une mise en réseau et une coordination horizontale automatisée des échelons tactiques. Une structure hiérarchique, les échelons supérieurs réalisant filtrage et synthèses, s'impose. Elle est par également indispensable à l'exercice de la subsidiarité.

Le manque d'interopérabilité des différents systèmes, les différences de génération et le manque d'intelligence cognitive des interfaces homme-machine (IHM) empêchent toute souplesse dans la mise en œuvre des SI. Le montage des réseaux d'un exercice de niveau brigade (comme Aurige) dure ainsi plus longtemps que l'exercice en lui-même. Réarticuler une force en cours d'action devient une gageure.

Une dernière difficulté réside dans la formation d'opérateurs technico-opérationnels : le dialogue entre technicien des SIC et opérationnel est difficile et la méconnaissance des contraintes de l'autre empêche un fonctionnement optimal.

Des cycles de développement inappropriés.

Les cycles d'acquisition des programmes d'armement¹¹² sont incompatibles avec le rythme d'évolution des technologies numériques, aujourd'hui tirées par le monde civil : l'arrivée de Félin dans les forces a coïncidé avec la sortie de l'iPhone 4 (2010-2011) et la comparaison de l'IHM et du SITCOMDE, dont l'expression de besoin avait été réalisée dans les années 80, avec l'iPhone n'était pas à l'avantage de Félin : batteries, intuitivité de l'interface,

¹¹⁰ COSQUER Christian (général 2S), *Les Centres de commandement et de contrôle (C2), un enjeu stratégique structurant*, CEIS (Les Notes Stratégiques), septembre 2014, 16 p.

¹¹¹ TOLOMYA Janos, « The battlefield digitization », *AARMS*, Vol. 4., No. 3., 2005, p. 433-445.

¹¹² Régis par l'instruction générale N°125/EMA ou 1516/DGA.

ergonomie... Certes les spécifications militaires (conditions d'emploi, protection, sécurité de l'information...) imposées rallongent les durées des programmes, mais la procédure d'acquisition elle-même mérite d'être révisée. L'utilisateur « *digital native* » ne peut pas comprendre l'archaïsme des technologies numériques militaires.

La question de la propriété intellectuelle des programmes et logiciels est également contraignante. La plupart des codes étant développés par des entreprises civiles, ces dernières restent en règle générale titulaires de la propriété intellectuelle de leur solution et par conséquent le code source ne peut être modifié par les Armées pour amélioration ou adaptation à l'évolution des besoins opérationnels. Toute modification doit être contractualisée et dépend alors de ressources financières contraintes. Mais quand les Armées acquièrent les codes sources (cas de certains logiciels de l'OTAN¹¹³ par exemple), encore faut-il mettre en place des procédures et moyens pour adapter les logiciels au besoin opérationnel spécifique des Armées.

Une RH encore inadaptée.

La maîtrise des technologies numériques nécessite une expertise caractérisée par une ressource humaine très spécialisée, volatile et chère (cf. §1.3.3.). Les armées, directions et services ont besoin de posséder une ressource humaine en propre, au mieux pour développer des solutions, au minimum pour être capables de définir les besoins opérationnels (en étant conscient des conséquences techniques et concrètes de l'expression du besoin) et de contrôler les solutions contractualisées. Entre les logiques et les intérêts des armées et des services, les difficultés à adapter les processus RH (comment définir des parcours professionnels pour des individus qui commencent leur carrière dans le civil payés comme des lieutenant-colonels ?) et la multiplicité des spécificités requises, les RH d'armées peinent à fournir les spécialistes à l'interarmées.

Complexité des états-majors.

La taille et la complexité des états-majors opérationnels, outre les problématiques tactiques liées aux bascules de PC et à leur sauvegarde (vulnérabilité aux tirs, empreinte électromagnétique), soulignent l'enjeu du partage de l'information.

¹¹³ SERBAN Asinetta, SCHUMANN Frederik, DYEVE Axel, *Conditions d'utilisation des logiciels de l'OTAN par les Nations Alliées*, CEIS (Les Notes Stratégiques), juin 2014, 28 p.

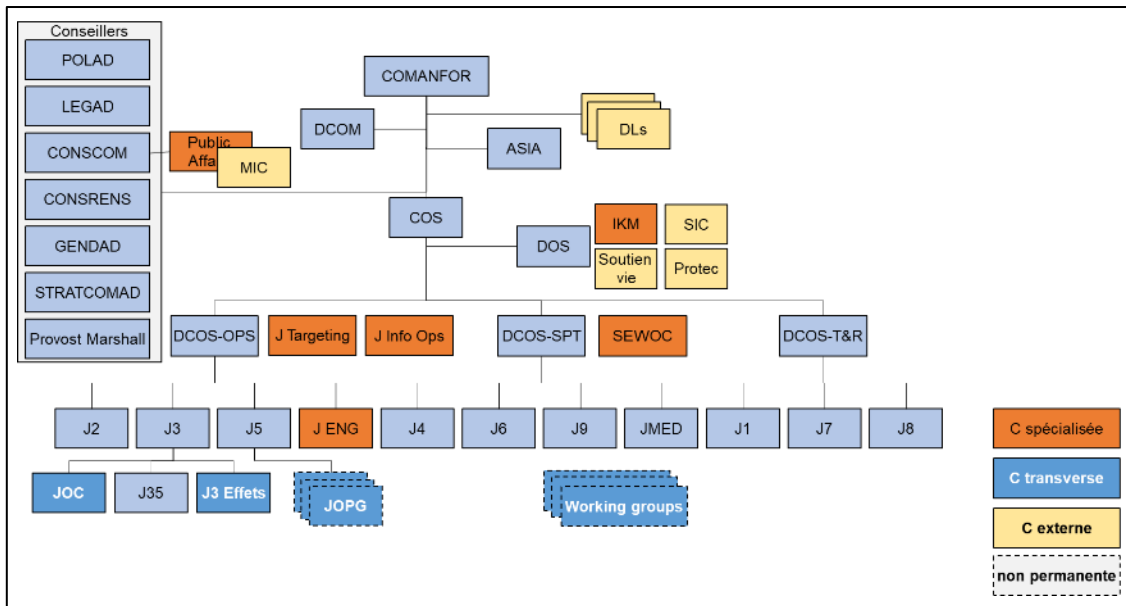


FIGURE 24 : COMPLEXITE D'UN ETAT-MAJOR DE NIVEAU OPERATIF

Cet enjeu devient crucial avec l'augmentation du nombre et du volume de données disponibles et la création régulière des cellules spécialisées au sein des états-majors pour répondre à des problématiques nécessitant une coordination horizontale (et souvent diagonale) poussée : planification, ciblage, influence... Pour permettre le partage et la circulation de l'information, des procédures sont mises en place.

Mais ces procédures sont chronophages, au détriment de la réflexion : « *the diversification and complexity of contemporary information and command systems, and the weight of information that flows through them, seems also to cause staff officers to spend a disproportionate amount of their time and attention doing objective functions. These include managing information and checking its veracity rather than subjective functions such as giving the information meaning [...]* Larger and more complex headquarters require individual staff members to invest more time, resources and attention in fulfilling the objective functions of cross-communication, staff coordination and managing the concomitant increase in the information produced by additional staff officers just to minimise the attendant potential for increased internal friction. »¹¹⁴ Les états-majors otaniens ont ainsi créé le poste

¹¹⁴ « La diversification et la complexité des systèmes d'information et de commandement contemporains, ainsi que le poids de l'information qui les traverse, semblent aussi amener les officiers d'état-major à consacrer une part disproportionnée de leur temps et de leur attention à des fonctions objectives. Cela inclut la gestion de l'information et la vérification de sa véracité plutôt que des fonctions subjectives telles que donner une signification à l'information. [...] Des quartiers généraux plus grands et plus complexes exigent que chaque

de DOS (Director of Staff), subordonné directement au chef d'état-major et responsable du respect des procédures, en particulier la gestion de l'information et le fonctionnement de l'état-major (*battle rhythm*, compendium, comitologie, etc...).

Mais les procédures ne peuvent remplacer une gestion « intelligente » de l'information alors que la PIA 6.1 sur le management de l'information semble se cantonner au rôle générique d'un secrétariat. Ces processus (classification, organisation des messageries, archivage...) sont indispensables mais insuffisants. En plus de la vérification des formats, des destinataires, de l'archivage, etc. la cellule responsable de la gestion de l'information devrait également s'intéresser au contenu du document (à la connaissance qu'il véhicule) pour s'assurer de son partage optimum. La notion d'IKM (*Information and Knowledge Management*) de l'OTAN a été traduite en France en CMI (cellule de management de l'information)¹¹⁵, or la cellule IKM se partage l'IM (*Information Management*) et le KM (*Knowledge Management*, oublié dans la traduction).

- Les freins culturels.

Des logiques fonctionnelles à dépasser.

Parce que les données numériques « métier » se structurent plus facilement, les SI se sont peu à peu construits selon cette logique « métier ». Le manque d'interopérabilité des différents SI a accru ce « silotage » de l'information. Mais cette difficulté, d'origine technique, est devenue culturelle avec le « besoin d'en connaître ». Ainsi les informations liées au renseignement

membre du personnel investisse davantage de temps, de ressources et d'attention pour effectuer les tâches objectives de communication croisée, de coordination du personnel et de gestion de l'augmentation concomitante de l'information produite par les officiers d'état-major supplémentaires, juste pour minimiser une friction interne accrue. » CHAMBERS Grant (Lieutenant Colonel), SMITH Chris (Colonel), REES Leanne (Dr), *Command and control in modern warfare: The importance of talent, experience and expertise*, Australian Army Occasional Paper, Command and Leadership Series 001, Australian Army Research Centre (AARC), September 2017, p. 26.
¹¹⁵ « Le management de l'information est effectué au sein de Cellules de Management de l'Information (CMI), ou également appelées cellules Information and Knowledge Management (IKM), en coordination avec les utilisateurs opérationnels des systèmes déployés, les administrateurs des systèmes d'information utilisés et appuyé par les personnels SIC en charge des services ou systèmes d'information utilisés », DIA-6, 2014 (amendée 2016).

sont-elles régulièrement surclassifiées. Pour le *NATO Command and Control Centre of Excellence*¹¹⁶, il y a 4 principales raisons à la surclassification des informations :

- ✓ la culture du renseignement, qui veut que la nécessité de protéger l'information est plus grande que le besoin de la partager ;
- ✓ un manque de connaissance des règles de classification et dans le doute, la tendance est de surclassifier ;
- ✓ une méconnaissance des besoins des autres utilisateurs par celui qui classe, la valeur de l'information variant en fonction de l'utilisateur ;
- ✓ les processus sont trop figés et peu intelligents : ainsi, le niveau de classification est souvent davantage lié à la cellule ou la personne qui classe plutôt qu'au contenu de l'information.

Cette logique de silo, si elle permet d'éviter une surcharge d'informations et facilite donc dans une certaine mesure la subsidiarité et la prise d'initiative, empêche un croisement des données automatique indispensable au développement d'outils d'intelligence artificielle.

Un rapport ambigu à la technologie numérique.

L'inadéquation entre le besoin de l'utilisateur (« besoin de systèmes efficaces, intuitifs et transparents pour les utilisateurs »¹¹⁷) et les réelles capacités des outils mis à sa disposition est due en grande partie à la complexité de la définition du besoin et aux durées de développement. Elle a pour conséquence une certaine méfiance des utilisateurs vis-à-vis de la technologie numérique militaire, qui semble souvent obsolète en comparaison avec celle du monde civil. La désillusion de la numérisation dans les régiments des forces terrestres en est un exemple. Les armées semblent ainsi souvent « complexées » par l'avance des technologies civiles sur les technologies militaires.

Le rapport à la technologie numérique varie selon les armées. L'armée de l'Air et la Marine, plus technologiques par nature, ont davantage de facilités à numériser leurs moyens, beaucoup moins nombreux et possédant la puissance énergétique nécessaire, que l'armée de Terre. L'intégration de certaines fonctions interarmées, comme le cyber ou l'influence, dont les

¹¹⁶ COMMAND AND CONTROL CENTRE OF EXCELLENCE, *Best Practices for Command and Control in a Network Enabled Environment*, Ede (Netherlands), August 2010, p. 43.

¹¹⁷ SERBAN Asinetta, MAUPEOU Martin de, *Rattrapages technologiques et technologies de l'information : La supériorité technologique et opérationnelle des Armées au défi du numérique*, CEIS (Les Notes Stratégiques), décembre 2015, p.24.

effets sont souvent immatériels et donc difficilement modélisables, est également problématique.

Les opérationnels ont tendance à se désintéresser des systèmes d'information et de communication opérationnels (SIOC) et à les considérer comme une affaire de spécialistes. Il est révélateur qu'en école, la formation aux SIOC soient conduite exclusivement par des spécialistes de SI et non des opérationnels. Cette formation est abordée du point de vue technique (comment charger une carte, comment zoomer ou placer une unité...) mais les aspects opérationnels (quelle cellule partage quel calque avec quelle autre, comment sont exploitées/suivies telles informations,...) ne sont pas – ou très peu – étudiés.

Une certaine méconnaissance enfin de ce qu'est l'outil numérique et de son utilité empêche son efficacité. Ainsi, enregistrer au format « .pdf » des tableaux de chiffres, ou scanner un document pour l'enregistrer dans ce même format n'est pas le meilleur moyen de garantir son exploitation.

Accepter l'échec ?

Le droit à l'erreur (« *try fast, fail fast* »), prôné par la digitalisation, va à l'encontre du culte de la mission propre au militaire.

Avec les perspectives offertes par les technologies émergentes, la numérisation du commandement interarmées devrait pouvoir bénéficier de l'élan de transformation numérique poursuivi par la ministre des Armées¹¹⁸.

2.3. La transformation numérique du C2.

La transformation numérique du C2 nécessite une adaptation de la capacité C2 pour permettre une optimisation de l'emploi de l'outil numérique et éviter que la numérisation ne devienne une affaire de « spécialistes ». Sa conduite doit être étroitement cadrée pour éviter une dispersion des efforts.

¹¹⁸ PARLY Florence (ministre des armées), *Ambition numérique du ministère des Armées*, décembre 2017, 32 p.

2.3.1. Adaptation de la capacité C2

Le pilotage interarmées de l'aptitude C2 devrait être mis en place, la numérisation du C2 ferait alors l'objet d'un groupe de travail. Parce que le commandement des opérations couvre tous les domaines et aptitudes interarmées, toutes les décisions structurantes prises concernant la gestion des données numériques de ces domaines et aptitudes devrait recevoir la validation du CODIR C2 des engagements opérationnels, présidé par le SCOPS.

- Doctrine.

Souplesse de la doctrine.

La doctrine, parce qu'elle ne peut évoluer au rythme des outils numériques, laisse au commandement la latitude d'adapter la chaîne de C2 à la situation et la possibilité de la faire évoluer en fonction du besoin. En revanche, les choix retenus doivent être connus et compris par tous, en particulier les notions d'autorité et de délégation de commandement.

Se mettre au rythme des technologies numériques.

« La conduite des programmes d'armement devra tirer bénéfice des évolutions liées à la réalisation des projets de services numériques afin de pouvoir délivrer de façon plus rapide et plus réactive les équipements nécessaires aux forces, quel que soit le domaine considéré. »¹¹⁹

L'instruction générale 1516 n'est pas adaptée au développement d'équipements numériques, de nouvelles procédures doivent être mises en place (du type « méthodes agiles »). Un état-major devrait pouvoir tester, améliorer, adopter et intégrer rapidement (par API et malgré les contraintes de SSI) un prototype développé par un industriel, voire une application développée en interne.

- Organisation du domaine C2.

Mettre en place le C2 Lab : une task force numérique du C2.

La création du C2 Lab renforcera le domaine C2 en lui offrant l'expertise numérique indispensable et en croisant les expertises techniques et opérationnelles.

¹¹⁹ MINARM, *Ambition numérique du ministère des Armées*, décembre 2017, p. 18.

Ce laboratoire du C2 pourrait, outre le conseil technique au pilotage de domaine C2, avoir quatre missions complémentaires :

- Collecter en continu les besoins des utilisateurs : exploitation du RETEX, organisation de boîtes à idées, animation d'un réseau au sein des états-majors opérationnels ;
- Assurer la veille et faciliter l'innovation technologique, par un dispositif de plateforme d'innovation, en lien avec des industriels, des *start-ups*¹²⁰, les autres laboratoires des du ministère (DGA Lab, Armées Lab, Défense Lab, Intelligence campus), des écoles, ... Cette plateforme serait complétée par exemple par l'organisation de concours, de hackathons et la mise en place d'un *innovation hub* à l'image de celui d'ACT¹²¹;
- Participer à l'amélioration des produits puis les tester et en contrôler la conformité. Le C2 Lab devrait entre autres faciliter la mise à disposition de données opérationnelles pour implémenter et tester les produits. Les tests pourraient avoir lieu lors des exercices des différents états-majors ;
- Développer en propre des produits, et/ou améliorer des produits existants, afin d'éviter la contractualisation, par nature chronophage (par exemple, l'adaptation du logiciel TOPFAS au besoin opérationnel français). Le C2 Lab pourrait entre autres mettre en place une plateforme « Big Data » du type de celui développé par la société Dataiku¹²², qui permet d'organiser de bout-en-bout ses données, de la fusion des différentes bases jusqu'à la visualisation des analyses, de façon entièrement collaborative.

Pour être efficace, le C2 Lab doit s'adosser à une équipe transversale et pluridisciplinaire. La représentation des principales fonctions opérationnelles (renseignement, logistique, influence, SIC, cyberdéfense, combat, etc.) correspondant aux différents espaces de confrontation (terrestre, aérien, maritime, espace, cyber, informationnel), de la DGA, permettrait d'assurer la cohérence des systèmes numériques de commandement. La pluridisciplinarité des spécialistes du numérique est indispensable en raison de la technicité des outils numériques : architectes réseaux, *data architects*, *data analysts*, *data scientists*, programmeurs, designers, spécialiste des bases de données, de la sécurité informatique, juridique.

¹²⁰ Il faut relativiser les apports potentiels des *start-ups* : elles possèdent une capacité d'innovation importante, mais disposent rarement de la solidité leur permettant de développer et d'intégrer leur solution dans les SI sécurisés des Armées.

¹²¹ <http://www.act.nato.int/innovationhub>.

¹²² Voir <https://www.dataiku.com/>.

Le commandement du C2 Lab et de sa *task force* doit revenir à un opérationnel, possédant un pouvoir décisionnel bien défini (finances, sélection et priorisation des travaux, capacité à mettre en œuvre les solutions, niveau d'habilitation...).

Réorganiser le management de l'information au sein des états-majors.

Au sein des états-majors, il faut donner au DOS (cf. §2.2.2.) les moyens de remplir efficacement sa mission de gestion de l'information, principalement avec des effectifs qualifiés. Le DOS doit, entre autres, pouvoir modifier autant que nécessaire les outils numériques de l'état-major et accéder à toutes les données et analyses opérationnelles concernant le théâtre (RENS, LOG...).

- Ressources humaines, formation et entraînement.

Des opérationnels sensibilisés.

Une filière interarmées « management de l'information opérationnelle » doit être créée : il s'agit bien de former des opérationnels, maîtrisant le fonctionnement des états-majors, plutôt en seconde partie de carrière, à la gestion de l'information : architecture des réseaux, bases de données, analyse opérationnelle... Les spécialistes de cette filière pourraient alors armer les postes des cellules IKM des différents états-majors et constituer des relais efficaces pour le C2 Lab (entre autres pour l'exploitation de la plateforme *Big Data* des Armées), selon le procédé utilisé par les grandes entreprises.

Des spécialistes à jour.

Le recrutement et la formation de spécialistes se heurte à la volatilité de la ressource, car pour être à jour, les spécialistes de la donnée numérique doivent se confronter en continu à d'autres spécialistes, au monde de la recherche et universitaire. Une solution consisterait en des contrats courts, mais un socle de spécialistes permanents est nécessaire pour conserver un certain niveau opérationnel.

- Equipements et soutien.

Les équipements : réseau et évolutivité.

Parce que la chaîne de commandement doit être réactive et pouvoir se reconfigurer aisément, une architecture en réseaux est souhaitable pour les SI. La convergence vers le tout-IP le facilitera.

De plus, à l'image de l'idée originelle de SIA, les SI doivent être conçus pour être évolutifs : *« acquisitions must be approached with integration in mind. This involves creating an open architecture that's designed for change and adaptation. Importantly, this also provides accessibility to third parties who need to manage the system without the privileged insights of the original equipment manufacturer »*¹²³.

Améliorer les IHM.

Grâce aux progrès de la cognition, la qualité de l'interfaçage entre l'homme et la machine augmente, réduisant les coûts de formation nécessaire et améliorant la performance des utilisateurs et donc des systèmes. Dès la conception des équipements, une attention particulière doit être portée sur le design, la visualisation des données, le paramétrage de l'IHM et les outils explicatifs des décisions prises par une IA.

2.3.2. Conduite de la transformation numérique du C2.

Pour ne pas céder à la dispersion ou aux effets de mode, la transformation numérique du C2 doit être conduite avec attention, par étapes. Quatre phases sont proposées ci-dessous.

- Phase 0 : Acculturation.

Cette phase a déjà débuté dès les années 2000, mais la dispersion initiale des projets ne permet pas de la poursuivre. La nouvelle impulsion donnée par le plan « ambition numérique du ministère des Armées » devrait permettre de redonner de la cohérence d'ensemble à la numérisation du C2.

¹²³ « Les acquisitions doivent être envisagées en tenant compte de l'intégration. Cela implique de créer une architecture ouverte conçue pour le changement et l'adaptation. Fait important, cela permet également l'accès à des tiers qui ont besoin de gérer le système sans les connaissances privilégiées de l'équipementier d'origine ». CLIFFORD Michael, RYAN Michael, HAWKINS Zoe, *Mission command and C3 modernisation in the Australian Army: Digitisation a critical enabler*, Australian Strategic Policy Institute (ASPI), Barton (Australia), December 2015, p. 9.

Il s'agit désormais de définir clairement les objectifs de la numérisation (donnée de bout-en-bout, c'est-à-dire du capteur à la proposition de choix au décideur, accélération du cycle décisionnel...) et de mettre en place les ressources (financières et humaines) nécessaires, en particulier avec la création du C2 Lab.

La définition d'une terminologie commune et des démonstrations d'outils numériques (analyse de données, salle de réunion virtuelle...) au profit des états-majors opérationnels participeraient à (re)donner une image positive de la numérisation.

- Phase 1 : Définition de la stratégie.

Cette phase de définition de la stratégie est particulièrement sensible en raison de l'interconnexion des données opérationnelles avec les autres données – organiques – du ministère (par exemple les données RH).

Définition d'une politique de la gouvernance de la donnée opérationnelle.

Pour éviter une dispersion plus importante des SI, le préalable indispensable au développement d'autres outils numériques est la mise en place d'une gouvernance de la donnée opérationnelle. Un recensement des données opérationnelles et des besoins des différentes fonctions doit être effectué afin de définir le sens et la signification des différentes données (définition d'un modèle sémantique).

Choix de l'architecture SI.

De nombreuses contraintes existent (réglementation, infrastructures et SI existants, confidentialité et protection...) mais il s'agit bien de tendre vers un système idéal d'architecture (tel que proposé Figure 1), orienté vers la donnée de bout-en-bout pour profiter des possibilités offertes par l'automatisation de nombre de tâches.

Si l'on veut que des algorithmes d'analyse de données massives puissent être appliqués sur les données, il est nécessaire que celles-ci, une fois contrôlées et structurées *a minima*, soient stockées en un lieu unique en métropole (sécurisation, stockage et flux) pour éviter les pertes de temps liées à la récupération des données. Le décloisonnement ne pourra donc être évité et les données « théâtre » pourront être dupliquées et synchronisées sur un serveur localisé sur le théâtre, afin de faciliter les requêtes effectuées par les niveaux opératif et tactique. Les

analyses quant à elles doivent être hébergées dans un entrepôt distinct de celui des données brutes.

Sur le plan technique, l'utilisation d'API ou d'autres passerelles sécurisées pour accéder aux données doit être généralisée avec des restrictions d'accès en fonction du niveau d'habilitation. Il est donc nécessaire de passer d'une logique d'information propriétaire (RENS, LOG, CYBER...) à une logique d'ouverture « *open data* ». L'information est par défaut disponible, son existence connue et son accès n'est restreint que si nécessaire : niveau de confidentialité, zone géographique concernée, domaine de compétences...

Priorisation des technologies.

La prise en compte du degré de maturité des technologies devrait permettre de limiter les échecs.

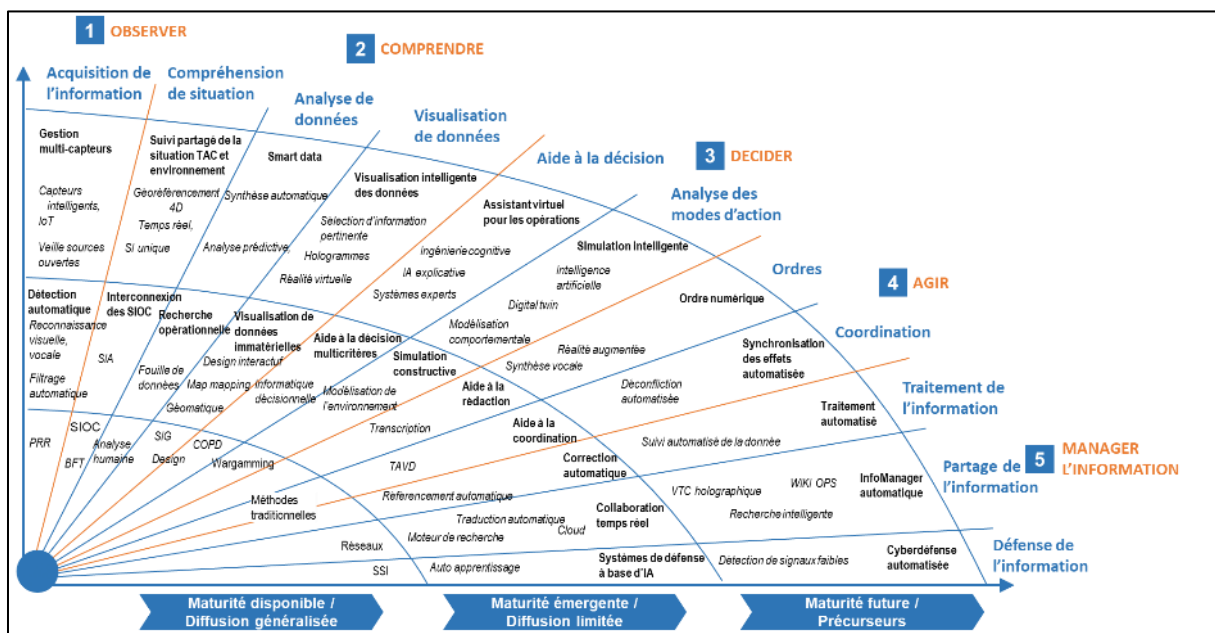


FIGURE 25 : EXEMPLE DE TECHNOLOGIES A DEVELOPPER

- Phase 2 : Lancement de projets « phares ».

Cette phase d'accélération verrait le lancement d'une dizaine de projets « phares » par le C2 Lab, sur des délais courts (6 mois au maximum). Ces projets devraient aboutir rapidement pour valider les choix faits en phase 1 et les produits mis en œuvre en opération.

- Phase 3 : Passage à l'échelle.

Cette dernière phase consisterait à créer les conditions normales de fonctionnement du C2 Lab : recueil du besoin des états-majors opérationnels, sélection et tri des projets, réalisation et mise en œuvre des projets retenus.

Conclusion.

La transformation numérique, parce qu'elle bouleverse les usages et les façons de travailler, implique une remise en question des organisations. Pour être efficace et efficient, l'emploi de technologies numériques impose à tous les niveaux des évolutions significatives, notamment en matière de comportements. Cette culture de la donnée n'est finalement que la reconnaissance de l'importance que la donnée numérique a prise et continuera à avoir : la quasi-totalité des informations sont désormais stockées et échangées par un support numérique. Il faut donc, entre autres, adapter les processus pour prendre en compte les évolutions des technologies numériques, innover en permanence et être en mesure d'en faire un facteur de supériorité. La maîtrise de ces technologies nécessite également une ressource humaine adaptée, capable de développer des applications, d'assurer une veille technologique. Parce que cette ressource humaine est rare et chère, son emploi doit être optimisé en organisation, en fonction des besoins. Si de nouveaux métiers apparaissent, l'outil numérique transforme également certains métiers traditionnels en automatisant les tâches répétitives ou pénibles.

Les Armées ont vu très tôt l'avantage de ces technologies pour gagner en efficacité opérationnelle. L'objectif principal était de fluidifier et améliorer les échanges d'informations pour permettre au chef de décider plus vite et mieux, en accélérant le cycle de décision et en dissipant en partie le brouillard de la guerre. Mais pour faire face au flux d'informations sans cesse croissant, les états-majors se sont agrandis, perdant la souplesse nécessaire à la prise de décision. La précision et la portée des armes, ainsi que l'écrasement des distances et du temps permis par les TIC, ont facilité l'intrusion des niveaux supérieurs (notamment à cause des contraintes politico-médiatiques) dans la prise de décision sur les théâtres d'opération, brouillant le périmètre de responsabilité des COMANFOR et renforçant l'autonomie de certaines fonctions : renseignement, cyberdéfense, logistique...

Après des débuts de numérisation en ordre dispersé, la numérisation du commandement des opérations impose une évolution des systèmes de commandement sur le plan capacitaire (doctrine, organisation, ressources humaines, équipements, soutien et entraînement), mais également sur le plan culturel.

La création du C2 Lab, cellule au service des états-majors opérationnels et conseiller numérique pour le pilotage du domaine C2, permettrait de constituer le noyau

multidisciplinaire d'experts et d'opérationnels capables de faciliter l'acculturation au numérique, d'assurer une veille technologique et de développer en interne et rapidement des solutions simples et fonctionnelles. Il faut réconcilier experts du numérique et experts des opérations, techniciens et opérationnels. Parce que la finalité reste l'efficacité opérationnelle, c'est bien au commandement des opérations de garder la main sur le développement de ses outils numériques.

Mais la numérisation du commandement des opérations ne peut se concevoir que dans le cadre plus global de la transformation digitale des Armées : imbrication de l'organique et de l'opérationnel, des niveaux stratégiques et opératifs, continuum sécurité/défense... Cette transformation digitale doit replacer les opérations au cœur de toutes les réflexions conduites et est l'occasion de relancer le pilotage de l'aptitude interarmées C2 : le niveau opératif est-il encore pertinent ? Si oui, est-il possible de lui redonner le commandement de l'ensemble des forces agissant sur le théâtre d'opérations ?

BIBLIOGRAPHIE

ALBERTS David S., HAYES Richard E., *Power to the Edge: Command and Control in the Information Age*, CCRP Publication Series (Information age transformation series), Washington DC, 2003, 259 p.

ALBERTS David S., HAYES Richard E., *Understanding Command and Control*, Washington, CCRP Publication Series (The Future of Command and Control), Washington DC, 2006, 255 p.

ALBERTS Davis S., HAYES Richard E., *Planning : Complex Endeavors*, CCRP Publication Series (The Future of Command and Control), Washington DC, April 2007, 287 p.

ALBERTS David S., « Agility, Focus, and Convergence: The Future of Command and Control », *The International C2 Journal*, Vol. 1, No. 1, 2007, p. 1-30.

ALBERTS David S., HUBER Reiner K., MOFFAT James, *NATO NEC C2 Maturity Model*, CCRP Publication Series, NATO SAS-065, February 2010, 205 p.

ALBERTS David S. (dir.), *Command and Control (C2) Agility*, NATO Science and Technology Organization Technical Report STO-TR-SAS-085, October 2014, 200 p.

ETAT-MAJOR DE L'ARMEE DE TERRE, *Action Terrestre Future : Demain se gagne aujourd'hui*, 2016, 69 p.

BOLIA Robert S., VIDULICH Michael A., NELSON W. Todd, *Unintended Consequences of the Network-Centric Decision Making Model: Considering the Human Operator*, Technical paper, Air Force Research Laboratory, Wright-Patterson Air Force Base, February 2006, 13 p.

BUVAT Jérôme (dir.), *The Digital Culture Challenge: Closing the Employee-Leadership Gap*, The Digital Transformation Institute, CAPGEMINI, 2017, 32 p.

CHAMBERS Grant (Lieutenant Colonel), SMITH Chris (Colonel), REES Leanne (Dr), *Command and control in modern warfare : The importance of talent, experience and expertise*, Australian Army Occasional Paper, Command and Leadership Series 001, Australian Army Research Centre (AARC), September 2017, 39 p.

CEBROWSKI Arthur K., GARSTKA John J., « Network-Centric Warfare: Its Origin and Future », *United States Naval Institute (Proceedings 124)*, No. 1, January 1998, p. 28-35.

CENTRE INTERARMEES DE CONCEPTS, DE DOCTRINES ET D'EXPERIMENTATIONS (CICDE), *Concept d'emploi des forces*, Concept interarmées CIA-01(A)_CEF(2013), N° 130/DEF/CICDE/NP du 12 septembre 2013, 26 p.

CENTRE INTERARMEES DE CONCEPTS, DE DOCTRINES ET D'EXPERIMENTATIONS (CICDE), *Doctrine d'emploi des forces*, Doctrine interarmées DIA-01(A)_DEF(2014), N° 128/DEF/CICDE/NP du 12 juin 2014, 68 p.

CLIFFORD Michael, RYAN Michael, HAWKINS Zoe, *Mission command and C3 modernisation in the Australian Army : Digitisation a critical enabler*, Australian Strategic Policy Institute (ASPI), Barton (Australia), December 2015, 20 p.

COMMAND AND CONTROL CENTRE OF EXCELLENCE, *Best Practices for Command and Control in a Network Enabled Environment*, Ede (Netherlands), August 2010, 52 p.

COMMISSION DES AFFAIRES ETRANGERES, DE LA DEFENSE ET DES FORCES ARMEES, Compte-rendu de l'audition de l'amiral Christian Pénillard, directeur général des systèmes d'information et de communication (DGSIC) du ministère de la défense, 13 janvier 2010.

COMPUTER SCIENCES CORPORATION (CSC), *Baromètre de la transformation digitale 2016*, étude, 2016, 148 p.

COSQUER Christian (général 2S, dir.), GOETZ Pierre, CAHUZAC-SOAVE Olivia, *Le programme SIA : changement de paradigme pour l'armée du futur*, CEIS (Les Notes Stratégiques), décembre 2013, 28 p.

COSQUER Christian (général 2S), *Les Centres de commandement et de contrôle (C2), un enjeu stratégique structurant*, CEIS (Les Notes Stratégiques), septembre 2014, 16 p.

DAVENPORT Thomas H., PATIL Dhanurjay J., « Data Scientist: The Sexiest Job of the 21st Century », *Harvard Business Review*, Vol. 90, No. 10, October 2012, p.70-76.

DE SPIEGELEIRE Stephan, ESSENS Peter, *C2 That! Command and Control over Post-Industrial Armed Forces*. In : 15th International Command and Control Research and Technology Symposium (June 22-24, 2010, Santa Monica), *The Evolution of C2 : where have we been? where are we going?*, 22 p.

DE SPIEGELEIRE Stephan, MAAS Matthijs, SWEIJS Tim, *Artificial Intelligence and the Future of Defense: Strategic Implications For Small- and Medium-Sized Force Providers*, The Hague Centre for Strategic Studies, 2017, 140 p.

DELAYAT Régis (dir.), *Valorisation des données dans les grandes entreprises : Maturité, pratiques et modèle*, CIGREF, novembre 2016, 53 p.

DEVELOPMENT, CONCEPTS AND DOCTRINE CENTRE (DCDC, UK Ministry of Defence), *Future of C2*, Joint Concept Note JCN 2/17, Shrivenham, September 2017

DIRECTION INTERMINISTERIELLE DES SYSTEMES D'INFORMATION ET DE COMMUNICATION, *Cadre Commun d'Architecture des Référentiels de données*, version 1.0, 2013, 48 p.

DORANGE Claude (et al.), « Les NTIC et les transformations du champ de bataille », *Les Cahiers du numérique*, Vol. 3, No. 2002/1, p.77-106.

DORKENOO Cindy (et al.), *Réussir sa transformation digitale : RH, marketing, data, logistique*, Eyrolles, 2016, 341 p.

DUVAL Martin, SPEIDEL Klaus-Peter, *Open innovation: Développez une culture ouverte et collaborative pour mieux innover*, Dunod (Stratégies et management), 2014, 208 p.

DYEVRE Axel, MAUPEOU Martin de, RICHARD-TIXIER Fleur, *Enjeux stratégiques du Big Data pour la Défense : Possibilités offertes aux Armées et enjeux de l'exploitation des données*, CEIS (Les Notes Stratégiques), juin 2017, 32 p.

GARTNER, Top Trends in the Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies, 2017, 15 August 2017, <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/top-trends-in-the-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2017/>.

GAUDIN Emmanuel (dir.), *Open innovation : une réponse aux challenges de l'entreprise*, CIGREF, septembre 2017, 36 p.

GOETZ Pierre, CAHUZAC-SOAVE Olivia, *Impact de la numérisation sur l'exercice du commandement*, CEIS (Les Notes Stratégiques), décembre 2015, 40 p.

GOMART Hervé (général de division), étude sur le commandement interarmées des engagements opérationnels - rapport intermédiaire n° 2, note N° 319/ARM/CPOIA/Div.EMP/CDT/NP du 22 décembre 2017.

GROUPEMENT DES INDUSTRIES DE L'EQUIPEMENT ELECTRIQUE, DU CONTROLE-COMMANDE ET DES SERVICES ASSOCIES (GIMELEC), *Industrie du futur : La révolution des données*, septembre 2017, 72 p.

HENRIOUD Audrey, MAUPEOU Martin de, PAUQUET William, *Rythme des opérations et nouvelles technologies : Le processus décisionnel français à l'épreuve*, CEIS (Les Notes Stratégiques), décembre 2015, 28 p.

HUBIN Guy (général), *Perspectives tactiques*, Economica, 3^{ème} ed., 2009, 179 p.

INSINNA Valerie, « Air Force looks to transform command and control enterprise », *DefenseNews*, September 17, 2017. Disponible sur <https://www.defensenews.com>, consulté le 9 février 2017.

JOINT WARFIGHTING CENTER (US JOINT FORCES COMMAND), *Gaining and Sharing Information and Knowledge (A Joint Force Operational Perspective)*, Focus paper #2, June 2011, 16 p.

KANE Gerald C. (et al.), « Strategy, Not Technology, Drives Digital Transformation », *MIT Sloan Management Review* and Deloitte University Press, July 2015, 29 p.

KUHN Pierre-Henri (et al.), *Référentiel de la maturité digitale 2017 : ADN de l'entreprise apprenante*, EBG-Elenbi BCG et IBM, 2017, 213 p.

LANEY Doug, *3D Data Management : Controlling Data Volume, Velocity, and Variety*, research report, Meta Group / Gartner, 6 February 2001, 4 p.

LEBOEUF Aline, SENNYEY Alix, HOURS Henri, LARCHET Louis-Guilhem, « Sciences cognitives et organisation des postes de commandement », *Cahiers de la pensée mili-Terre*, centre de Doctrine et d'Enseignement du Commandement, No. 47, 2^{ème} semestre 2017, p. 15-23.

LEONHARD Robert R. (dir.), « A Concept for Command and Control », *Johns Hopkins APL Technical Digest*, Vol. 29, No 2, 2010, p. 157-170.

LYLE Dave (Lieutenant Colonel), « The Rest of the C2 Iceberg », *Air & Space Power Journal*, Jummy-August 2014, p. 56-91.

MALIS Christian, *Guerre et stratégie au XXIe siècle*, Fayard, 2014, 352 p.

MARCUM Richard A. (et al.), "Rapid broad area search and detection of Chinese surface-to-air missile sites using deep convolutional neural networks," *Journal of Applied Remote Sensing*, Vol. 11, No. 4, Oct-Dec 2017, 32 p.

MARKOW Will (et al.), *The Quant Crunch : How The Demand For Data Science Skills Is Disrupting The Job Market*, IBM & Burning Glass Technologies, 2017, 25 p.

MAYER-SCHÖNBERGER Viktor, CUKIER Kenneth, *Big Data: A Revolution That Will Transform How We Live, Work, and Think*, Houghton Mifflin Harcourt, 2013, 240 p.

MINISTERE DE L'ECONOMIE ET DES FINANCES, *La nouvelle France industrielle : Présentation des feuilles de route des 34 plans de la nouvelle France industrielle*, septembre 2014, 78 p., <https://www.economie.gouv.fr/nouvelle-france-industrielle/accueil>.

MINISTERE DE L'ECONOMIE ET DES FINANCES, *Rapport de synthèse France intelligence artificielle*, 2017, 350 p., <https://www.economie.gouv.fr/evenement-france-ia>.

MINISTERE DES ARMEES, *Revue stratégique de défense et de sécurité nationale*, octobre 2017, 111 p.

McCHRYSTAL Stanley (general, dir.), *Team of Teams – New Rules of Engagement for a Complex World*, Penguin UK, 2015, 304 p.

MORIN Edgar, *Introduction à la pensée complexe*, Le Seuil, Paris, 1990, 158 p.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (dir.), *Communicating Science and Engineering Data in the Information Age*, National Academies Press, Washington, DC, 2012, 122 p.

PARLY Florence (ministre des armées), *Ambition numérique du ministère des Armées*, décembre 2017, 31 p.

PERSSON Matt, *Future Technology Support of Command and Control : Assessing the impact of assumed future technologies on cooperative command and control*, Th. Philosophy, Uppsala Universitet, 2014, 110 p.

REINSEL David, GANTZ John, RYDNING John, *Data Age 2025: The Evolution of Data to Life-Critical: Don't Focus on Big Data; Focus on the Data That's Big*, International Data Corporation (IDC) White Paper, Framingham (USA), April 2017, 25 p.

RIFKIN Jeremy, *The Third Industrial Revolution: How Lateral Power Is Transforming Energy, the Economy, and the World*, St. Martin's Press, 2011, 304 p.

SERBAN Asinetta, MAUPEOU Martin de, *Rattrapages technologiques et technologies de l'information : La supériorité technologique et opérationnelle des Armées au défi du numérique*, CEIS (Les Notes Stratégiques), décembre 2015, 32 p.

SERBAN Asinetta, SCHUMANN Frederik, DYEUVRE Axel, *Conditions d'utilisation des logiciels de l'OTAN par les Nations Alliées*, CEIS (Les Notes Stratégiques), juin 2014, 28 p.

SINGH Ravinder (Colonel, dir.), « IKC2 for the SAF : Organising around knowledge », *Pointer*, Journal of the Singapore Armed Forces, 2003, p. 12-17.

STRICHER Laurent (dir.), *Le « collaborateur 2020 » : Son profil, ses compétences, quelle politique pour l'attirer et le garder ?*, CIGREF, Paris, Octobre 2016, 53 p.

TOLOMYA Janos, « The battlefield digitization », *AARMS*, Vol. 4., No. 3., 2005, p. 433-445.

TOOMEY Christopher J. (Colonel), « Army Digitization: Making it Ready for Prime Time », *Parameters*, No.24, 2003-2004, p. 40-53.

VAN CREVELD Martin L., *Command in War*, Harvard University Press, 1985, 339 p.

VIALETTE Isabelle (dir.), *Objets connectés : un 360° pour bien les comprendre*, CIGREF, Paris, décembre 2016, 33 p.

VILLANI Cédric (dir.), *Donner un sens à l'intelligence artificielle: pour une stratégie nationale et européenne*, Conseil national du numérique, mars 2018, 233 p.

ANNEXE I : DEFINITIONS

- Agilité : « capacité, pour une entreprise, à s'adapter rapidement à des situations changeantes. » (Wikipédia).
- API (*application programming interface*) ou interface de programmation applicative : ensemble de fonctions permettant d'établir des connections avec un logiciel et d'échanger des données.
- *Big data* ou données massives : « ensembles de données devenus si volumineux qu'ils dépassent l'intuition et les capacités humaines d'analyse et même celles des outils informatiques classiques de gestion de base de données ou de l'information » (Wikipédia).
- Capacité opérationnelle : « ensemble de compétences et de moyens organisés pour remplir une mission donnée. Elle répond à un objectif, décliné sous forme de contrat opérationnel (Disponibilité, Durée) et s'inscrit dans une doctrine et une organisation, implique des ressources, des équipements, un soutien spécifique et un entraînement adapté aux missions. » (PIA 3.0, 2017).
- CDO (*chief digital officer*) : « dirigeant de l'entreprise, responsable des données. Cette fonction découle directement des approches de type Big Data et sa nouveauté, ainsi que la définition encore peu précise du Big Data, en rendent les contours très variables. » (Wikipédia).
- *Cloud computing* ou informatique en nuage : « consiste à exploiter la puissance de calcul ou de stockage de serveurs informatiques distants par l'intermédiaire d'un réseau, généralement Internet. » (Wikipédia).
- *Command and control (C2)* : « *the exercise of authority and direction by a properly designated commander over assigned and attached forces in the accomplishment of the mission.* »¹²⁴. L'équivalent français est le commandement, qui englobe les deux termes.
- Commandement : « Autorité conférée à un chef pour diriger, coordonner et contrôler des forces. Le commandement est lié à la notion de responsabilité d'emploi des

¹²⁴ Department of Defense Dictionary of Military and Associated Terms, Joint Publication (JP) 1-02, 8 November 2010 (as amended through 15 March 2014), 45, http://www.dtic.mil/doctrine/new_pubs/jp1_02.pdf.

moyens relevant de l'autorité considérée. Ces moyens peuvent lui appartenir en propre (moyens organiques) ou lui être assignés. Le commandement opérationnel est un système dont la finalité est de planifier, concevoir, conduire et contrôler des opérations, c'est-à-dire :

- analyser, comprendre et apprécier une situation (observer) ;
- concevoir, organiser (orienter), puis décider (décider) ;
- diriger, c'est-à-dire conduire et coordonner (agir) ;
- apprécier et évaluer les résultats obtenus (assessment, RETEX).

Un système de commandement et de contrôle s'appuie sur une organisation (liens de subordination, liaisons...), une structure, une doctrine et des processus, des SIOC, des moyens de quartier général et surtout, des hommes. » (CICDE, DIA-3d).

- Commandement opérationnel (OPCOM) : « autorité conférée à un commandant d'assigner des missions ou des tâches à des commandants subordonnés, de déployer des unités, de réaffecter des forces, de conserver le contrôle opérationnel ou le contrôle tactique, ou de le déléguer au besoin. » (APP-6).
- Contrôle opérationnel (OPCON) : « autorité conférée à un commandant de donner des ordres aux forces affectées, de telle sorte qu'elles puissent accomplir des missions ou tâches particulières, habituellement limitées de par leur nature, quant au lieu ou dans le temps ; de déployer les unités concernées et de conserver ou de déléguer le contrôle tactique de ces unités. Il ne comporte pas le pouvoir d'utiliser séparément les éléments constitutifs des unités concernées, pas plus qu'il n'inclut en soi le contrôle administratif ou logistique. » (APP-6).
- *Coworking* ou cotravail : « type d'organisation du travail qui regroupe deux notions : un espace de travail partagé, mais aussi un réseau de travailleurs encourageant l'échange et l'ouverture. » (Wikipédia).
- *Crowdsourcing* : « pratique qui correspond à faire appel au grand public ou aux consommateurs pour proposer et créer des éléments de la politique marketing (choix de marque, création de slogan, création de vidéo, idéation / co-création produit,...) ou même pour réaliser des prestations marketing. Les prestataires professionnels ou amateurs peuvent alors être récompensés, rémunérés ou parfois uniquement valorisés lorsque leurs créations sont choisies par l'annonceur ou parfois simplement pour leur effort de participation. Le *crowdsourcing* s'est surtout développé avec Internet qui

favorise la sollicitation des consommateurs ou free lances par le biais de plateformes spécialisées. » (<https://www.definitions-marketing.com>).

- Culture d'entreprise : « ensemble de connaissances, de valeurs et de comportements qui facilite le fonctionnement d'une entreprise en étant partagé par la plupart de ses membres. » (Wikipédia).
- Cycle décisionnel ou cycle de décision : « Ensemble des phases qui permet une prise de décision par niveau de responsabilité. » (CICDE, GIATO DC-004, 2013)
- *Data lake* ou lac de données : « méthode de stockage des données utilisée par le *big data*. Ces données sont gardées dans leurs formats originaux ou sont très peu transformées. » (Wikipédia). Ces données sont stockées sans que leur utilité n'ait encore été définie (contrairement aux *data warehouses*, ou entrepôts de données).
- *Deep learning* : (apprentissage profond) : « ensemble de méthodes d'apprentissage automatique tentant de modéliser avec un haut niveau d'abstraction des données grâce à des architectures articulées de différentes transformations non linéaires. » (Wikipédia). Le *deep learning*, méthode de *machine learning*, a permis des progrès importants en reconnaissance de formes et en traitement automatique du langage.
- Donnée : « toute quantité numérique ou géométrique pouvant servir de référence ou de base » (AAP-06, 2015). Il s'agit donc d'élément brut, non interprété.
- Expérience client (CX pour *customer experience*) : « concept du domaine du marketing qui traite du sujet de la relation entre les entreprises et les clients. » (Wikipédia). L'expérience client, qui traite des relations avec la marque, englobe donc l'expérience utilisateur, qui traite des relations avec le produit.
- Expérience utilisateur (UX, *user experience*) : « concept apparu dans les années 1990, suite à la parution de l'ouvrage de Donald Norman *The Design of Everyday Things*, pour indiquer que l'analyse des fonctions d'un artefact (outil, objet technique, interface homme-machine...) n'est pas suffisante pour comprendre la relation des utilisateurs avec cet artefact et qu'il est nécessaire de prendre en compte la dimension subjective et affective de la personne, qui fait intervenir la notion de plaisir. » (Wikipédia).
- Information : « le terme "information" revêt une multitude de sens. Il est illusoire et bien trop restrictif de vouloir en établir une définition particulière. A titre indicatif :

1. Ensemble de faits, de données ou d'instructions, sous n'importe quelle forme transmissible et utilisable par une signification déterminée grâce à des conventions utilisées en représentation symbolique.
 2. Signification donnée à partir d'une ou plusieurs données, après un travail analytique, parfois automatique ou réduit à sa plus simple expression et destinée à être communiquée.
 3. Donnée non traitée, de toute nature, qui peut être utilisée pour l'élaboration du renseignement. » (glossaire interarmées de terminologie opérationnelle).
- Innovation : le terme innovation recouvre plusieurs significations :
 1. « Introduction, dans le processus de production et/ou de vente d'un produit, d'un équipement ou d'un procédé nouveau.
 2. Ensemble du processus qui se déroule depuis la naissance d'une idée jusqu'à sa matérialisation (lancement d'un produit), en passant par l'étude du marché, le développement du prototype et les premières étapes de la production.
 3. Processus d'influence qui conduit au changement social et dont l'effet consiste à rejeter les normes sociales existantes et à en proposer de nouvelles. » (Larousse)
 - Intelligence artificielle (IA) : « Ensemble de théories et de techniques mises en œuvre en vue de réaliser des machines capables de simuler l'intelligence humaine. » (Larousse).
 - Internet des objets (*IOT*) : « réseau d'objets physiques, dédiés à des usages particuliers, qui embarquent des technologies pour communiquer, détecter ou interagir avec l'environnement externe selon leurs états internes. L'Internet des objets est donc un écosystème d'objets qui captent des informations et communiquent entre eux ou avec des applications. » (Gartner).
 - Jumeau numérique (*digital twin*) : le jumeau numérique désigne la modélisation numérique de l'ensemble de la chaîne de production (usine et process) et du produit. Cette modélisation permet entre autres d'adapter le produit si nécessaire, de paramétrer la chaîne de production et d'effectuer des simulations.
 - *Legacy* (héritage) : informatique déjà existante, qu'il s'agit d'intégrer dans les nouveaux systèmes.

- Métadonnée : « donnée servant à définir ou décrire une autre donnée quel que soit son support (papier ou électronique). Un exemple type est d'associer à une donnée la date à laquelle elle a été produite ou enregistrée, ou à une photo les coordonnées GPS du lieu où elle a été prise. » (Wikipédia).
- Niveau opératif (*Operational Level*) : « niveau supérieur du commandement militaire projeté sur un théâtre ou responsable d'une zone géographique, auquel des opérations sont planifiées, conduites et soutenues par une ou plusieurs forces en vue d'atteindre les objectifs militaires fixés par le commandant stratégique et de contribuer ainsi à la réalisation de l'état final recherché. » (CICDE, CIA-02).
- Numérisation : « adaptation des possibilités techniques offertes par les nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC) et leur mise en œuvre coordonnée en vue d'optimiser l'efficacité globale des forces, en particulier dans les domaines de la prise de décision, de l'exécution de la manœuvre et du traitement de l'information. » (CICDE, GIATO DC-004) ;
- PoC (*proof of concept*) ou preuve de concept : « réalisation expérimentale concrète et préliminaire, courte ou incomplète, illustrant une certaine méthode ou idée afin d'en démontrer la faisabilité. Située très en amont dans le processus de développement d'un produit ou d'un process nouveau, la preuve de concept est habituellement considérée comme une étape importante sur la voie d'un prototype pleinement fonctionnel. » (Wikipédia).
- Résilience : « capacité d'une organisation à faire face à des événements (incident ou agression), à leur résister et à se rétablir. » (GIATO)
- Sciences cognitives : « ensemble des connaissances et des études dédiées à la modélisation des processus par lesquels un système (vivant ou non) aboutit, à partir d'informations réelles et de l'expérience, à une décision, qui induit un comportement. » (CDEC, « Sciences cognitives et organisation des postes de commandement », *Cahiers de la pensée mili-Terre*, No. 47, 2^e semestre 2017, p. 15-23)
- Sémantique des données : « étude et la formalisation du sens et de la signification des données » (DISIC, *Cadre Commun d'Architecture des Référentiels de données*, version 1.0, 2013)

- Système d'information (SI) : « ensemble de matériels, de méthodes, de procédures et, le cas échéant, de personnes, organisé pour accomplir des fonctions déterminées de traitement d'informations. » (AAP-31, 2010).
- Système d'information opérationnel et de communication des armées (SIOC) : SI utilisé des fins immédiates de combat, logistiques.
- *Tag* (ou étiquette, marqueur, libellé) : « mot-clé (signifiant) ou terme associé ou assigné à de l'information (par exemple une image, un article, ou un clip vidéo), qui décrit une caractéristique de l'objet et permet un regroupement facile des informations contenant les mêmes mots-clés. » (Wikipédia).
- Urbanisation du système d'information : « discipline d'ingénierie informatique consistant à faire évoluer son SI pour qu'il soutienne et accompagne de manière efficace les missions de l'organisation et leurs transformations. L'urbanisation du SI ne fait pas table rase du passé mais tient compte de l'existant et doit permettre de mieux anticiper les évolutions ou contraintes internes et externes impactant le SI et en s'appuyant le cas échéant sur des opportunités technologiques. » (Wikipédia).

**ANNEXE II : CORRESPONDANCE DES TERMES ENTRE LE MONDE DE
L'ENTREPRISE ET CELUI DES ARMEES**

Armée	Entreprise
Stratégie militaire	Stratégie d'entreprise
Commandement	Leadership / management
Théâtre d'opérations	Marché
Environnement	Contexte économique
Traditions	Culture d'entreprise
Doctrine	Process
RETEX	Démarche qualité
Conquête de la supériorité	Conquête de parts du marché
Logistique et Intendance	Service Achat/ Approvisionnement/ Magasinage
Ennemi	Concurrent
Cible	Client
Zone contrôlée, situation contrôlée,...	Chiffre d'affaires, Profit
Crise	Evolution brutale du marché Nouveaux concurrents
Anticipation stratégique	Marketing : connaissance du marché et de la concurrence
Planification opérationnelle	Alignement de l'outil de production - <i>supply chain</i>
Arme	Outil de gestion

ANNEXE III : NOTES DES ENTRETIENS REALISES

NUMA (Thomas Lacquemant, 06 novembre 2017)

- Culture numérique = nécessité de changer de *mindset* et promotion de la créativité
 - Confiance : initiative du subordonné => créativité
 - Transparence : données entièrement partagées
 - Besoin d'acculturation : nécessité d'une formation pour tous les niveaux (importance du vocabulaire de COM en interne) et mise en place d'ambassadeurs du numérique en interne (référents ?), mais pas les chefs, plutôt des gens de terrain.
 - Campagnes de recueil des initiatives internes et sélection des projets à conduire à terme (pas de plateforme boîte à idées permanente, échec démontré).
- Structure = experts du numérique près du COMEX et agilité de la structure
 - Contradiction entre inutilité des niveaux hiérarchiques (idéal fantasmé de l'holocratie) et besoin de structurer (hiérarchie) quand la taille de l'entreprise augmente (réalisme).
 - Importance du niveau de rattachement du *data scientist*, lié au besoin d'en connaître (doit avoir accès à toutes les données) et à la question de la légitimité du CDO.
 - Ne pas séparer SI et numérique.
 - *Toolkits* qui permettent d'uniformiser de la communication et diffuser rapidement les innovations
 - Savoir tuer les structures inutiles
- RH = développer les compétences
 - Flexibilité RH : capacité de détecter les talents et de les valoriser
 - Développer en interne les compétences sur les secteurs stratégiques, ne pas dépendre de prestataires. + capacité à développer rapidement de petits projets.

THALES (Ina Maller, CEO office, 06 novembre 2017)

- Nécessité d'aborder technologie et organisation (dont processus) car digital transverse.
- *Digital Transformation Office* transverse et pluridisciplinaire (niveau COMEX-1 et quelques jeunes)
 - Hiérarchie, discipline indispensable
 - Choix de 4 axes de développement du digital
 - Dans chaque division, un *Digital Champion* = référent
- Digital Factory
 - Force de frappe :
 - 150 experts d'ici 2 à 3 ans.
 - Pas forcément d'organisation : vivier de ressources
 - Combiner des expertises digitales et des gens qui connaissent l'organisation.
 - En lien avec des *start-ups* internes et externe (incubation) => lieu physique
 - *Digital Academy*
 - Plateforme numérique pour mettre en lien tous les clients et collaborateurs
- Développement rapide des projets : *Proof of Concept POC Factory*
 - Toute la boîte est invitée à proposer des idées
 - *MVP* : *minimum viable products*, développés jusqu'à la phase de test, sortis en quelques mois.
- *Digital manifest* pour l'acculturation

LOUIS VUITTON (15/11/2017)

- Initialement, le digital était à la COM, mais désormais à la DAF (car le DAF est le DG...culture LV oblige) + compte-rendu informel à la DSI.
- L'objectif stratégique de la digitalisation défini est l'optimisation (gain de temps) de toute la chaîne :
 - Conception (réalité augmentée, logiciels et modélisation 3D)
 - Industrialisation (robotisation : ligne rouge pour garder la patte « artisanale » donc robotisation pour diminuer la pénibilité des tâches (ex manutention robotisée mais la couture reste humaine ; point intéressant de la réflexion menée par l'entreprise pour définir l'identité du métier et ce qui ne peut être délégué aux robots.)
 - Distribution : communication et magasins ; maillon faible, car COM et magasins travaillent très peu ensemble.
- « Force de frappe numérique »
 - 4 *squads* pluridisciplinaires et transverses : *data-scientists, business owners, designers, dashboarders*
 - Réunion décisionnelle hebdomadaire (contre une fois par mois avant le numérique)
 - Place des data-scientists :
 - Tout était sous-traité à l'origine
 - 3 stagiaires ont été recrutés et placés dans les trois départements, mais leur RETEX a souligné la nécessité d'être regroupés (réflexions/discussion) par soucis d'efficacité.
 - Actuellement une dizaine de *data-scientists*
- Outils en cours de développement :
 - Ecoute des RZO sociaux
 - IA pour la reconnaissance d'images
- Absence quasi-totale de coordination par LVMH : maintien d'un fonctionnement cloisonné
 - LVMH a tenté de mettre en place des synergies dans la gestion des données (McKinsey consultant), qui ont échoué par manque d'intérêt des sociétés

(argument avancé : positionnement trop différent des différentes marques du groupe pour qu'une mise en commun des données présente un intérêt)

- Seule piste commune envisagée : la publicité

SAFRAN (François de Lafontaine, directeur usine du futur, 20/11/2017)

- **Projet Usine du futur (Ici encore, l'initiative vient du groupe) :**
 - 70 lignes de produits concernées, soit 20% de Safran ; actuellement managé par SAFRAN, puis dans 18 mois laissé à la main des sociétés
 - 2 objectifs :
 - Améliorer les lignes de production : coût, qualité et délais
 - Améliorer des technologies : Maintenance prédictive, simulation de flux (LOG), aide à l'opérateur (opérateur augmenté, réalité augmentée,...), contrôle non-destructif (thermographie infra-rouge,...)
 - Toutes les sociétés de SAFRAN ont désigné des animateurs (=ambassadeurs) de RZO, avec croisement des RZO métiers et des RZO équipes de projet pour irriguer au mieux.
- **Utilisation de la simulation : jumeaux numériques (product, plant & process)**
 - AMDEC : analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité ... : désormais on définit un mode nominal et l'opérateur doit désormais savoir comment réagir en cas d'écart => aide à l'opérateur (qui change de métier: on passe du faire à la supervision et à la capacité à réagir en cas d'écart)
- **Problématique de la donnée : pour faire du *Big Data* il faut de la donnée... manque de capteurs**
 - Données des machines et suivi de la localisation en temps réel des pièces et des outillages
 - Avec la multiplicité des capteurs, le moins bon nivelle la chaîne complète ; pb âge des machines (créer une chaîne neuve est facile, mais moderniser...)
 - *Open data* forcément...donc choix d'héberger les données au sein de SAFRAN.
- **Importance de la définition de l'architecture SI et de la définition des responsabilités entre SI, SSI,...**
- **Problématique de la maturité des technos (absence de porteur sur l'échelle TRL de 5 à 7)**
- **Chaque société a ses spécialistes, sauf pour les data analysts : SAFRAN ANALITICS = « *black belt* », en ressource centrale pour unifier les compétences.**

- IoT
 - Futur avions très communicants ; défi connecter les nombreux capteurs au SI.
 - Les maintenanciers se servaient sur leur smartphones de pdf pour le suivi des gestes de maintenance (génération *ATAWAD* : *any time, any where any device*). La plupart des pdf étaient de vieilles versions, pas forcément mises à jour. D'où la décision de les équiper d'Ipad.
 - Orientation : le BYOD (*bring your own device*)
 - Difficulté à travailler sur des TRL bas (creux de désillusion).
- Maintenance prédictive
 - Par chance, l'historique des pannes était archive depuis des années.
 - Autre chance, pendant la période de tests, 3 pannes à 250.000\$ ont pu être évitées (et confirmées par l'équipementier/constructeur !).
 - Nécessite une remise en question culturelle : déposer des équipements qui ne sont pas en panne ?
 - Permet de cibler la panne (réduire le champ des investigations).
 - L'IA présente des solutions, c'est un expert métier qui prend la décision.
- Symétrie des attentions client / salarié
 - Expérience client : tout était orienté vers la satisfaction du client (au détriment des conditions de travail du salarié)
 - Depuis quelques années, rééquilibrage : si le salarié est satisfait, le client est satisfait
- Ressource RH :
 - 80 datascientists au département RO (recherche opérationnelle) de la DSI, au service des grandes directions d'Air France.
 - Dans le cadre de MRO Lab (Programme R&D), le projet PROGNOS permet de créer les conditions faire communiquer experts métiers, data architects (SI) et data scientists (la « *dream team* »). Développement d'une stratégie pour la maintenance prédictive. Un seul plateau.
- Culture de la donnée

- Pratique des données de KLM, qui légalement n'ont pas le droit de quitter le sol néerlandais...
- Logique de données propriétaires : les pilotes (syndicats) refusent de partager leurs données.
- Pas de sous-traitance pour les données d'AFI et KLM E&M ; uniquement pour les données externes (exemple météo)
- Importance du design et de l'ergonomie pour rendre lisibles les résultats.

ENEDIS (Emmanuel JEAN, directeur adjoint au programme numérique, 23/03/2018)

- ENEDIS plus grand opérateur d'*IoT*. 8 millions de compteurs Linky, 16 millions en fin d'année, 35 millions dans 3 ans. 30.000 compteurs posés par jour. A comparer à Veolia (2 millions).
 - Au tout début des réflexions sur l'usage de ces données
 - Plateforme *IoT* pour tester la remontée d'informations de 6000 objets/capteurs.
- Réseaux intelligents (*smart grids*) : nécessité d'intégrer de nouveaux usages (par ex voiture électrique) et accompagner la transition énergétique (énergies renouvelables).
- Programme numérique = 50 pax. Le *CDO* est au COMEX, pas le DSI...
 - La Fabrique numérique : 35 *data scientists* et *analysts*
 - 15 « défricheurs ». Une petite équipe de spécialistes de la donnée pour l'innovation, qui sait s'affranchir des règles pour innover. Mais le plus en lien possible avec la DSI, le service juridique, ...
 - A comparer aux 600 du DSI + 3000 prestataires.
- L'innovation n'est pas un problème. L'enjeu désormais est l'industrialisation. Nombreux projets et *PoC*, mais peu de projets passent à l'échelle... (8000 idées, 300 *PoC*, 3 industrialisations). La Ruche : plateforme d'innovation collaborative interne (au-delà de 400 « like », une direction métier s'empare du projet et rend des comptes).
- Architecture du SI :
 - Difficulté de monter peu à peu en gamme le SI pour atteindre les 35 millions de compteurs Linky
 - Défi du volume : permet Big Data avec le croisement de données : compteurs Linky, compteurs industriels, données réseaux, données techniques, données contractuelles, météo, concessions, ...
 - Difficultés à anticiper : travailler sur les données sans les modifier ni les dupliquer. Au départ, base de données Teradata, mais pour des problèmes de stockage et de vélocité, passage progressif à Hadoop.
 - 3 strates : 1 - stockage de données « brutes » structurées ; 2 – zone partagée, banque de données (intégrité contrôlée) ; 3 – zone dédiée pour les projets
- *Open data*. Enjeu juridique : pas d'individualisation possible. Mais potentialité avec les données clients (valorisation).