

ECOLE DE GUERRE



PROMOTION *VERDUN*

2015 -2016

L'usage des simulateurs au sein de l'armée française depuis 1945

Commandant Olivier REGIS

Sous la direction de
Guillaume MONTAGNON

SOMMAIRE

INTRODUCTION page 3

1. LA CONQUETE DES 5 CHAMPS DE LA SIMULATION DANS LES ARMEES :

- A. TECHNIQUE ET TECHNICO-OPERATIONNELLE page 6
- B. VALIDATION page 6
- C. ETUDES OPERATIONNELLES page 7
- D. ENTRAINEMENT page 8
- E. AIDE A LA DECISION OPERATIONNELLE page 9

2. LES ENJEUX ACTUELS ET FUTURS

- A. NORMALISATION VS SYSTEME PROPRIETAIRE page 10
- B. JEUX VIDEO ET SIMULATION MILITAIRE page 11
- C. COOPERATION MILITAIRE ET INFLUENCE page 12
- D. PROGRAMME D'ARMEMENT ET SOUTENABILITE FINANCIERE DU
MAINTIEN EN CONDITION OPERATIONNELLE (MCO) page 13
- E. AVANCE TECHNOLOGIQUE ET INTERETS VITAUX page 14

CONCLUSION page 16

GLOSSAIRE page 18

BIBLIOGRAPHIE page 19

INTRODUCTION

Instructeur sur C160 Transall et affecté précédemment au Centre d'Instruction des Equipages de Transport 340 « Général Lionel de Marmier », j'ai été amené à non seulement utiliser à de nombreuses reprises des simulateurs de vol mais également à penser la façon de les utiliser pour effectuer l'instruction et l'entraînement des équipages afin de garantir au Général commandant le transport aérien militaire le niveau de compétence de ses personnels. C'est ainsi que mon choix de mini-mémoire s'est naturellement tourné vers ce sujet qui promettait une approche interarmées du domaine qui allait nécessairement apporter son lot de différences mais également, et c'était là mon principal intérêt, de convergences.

Le sujet propose de dresser l'usage des simulateurs dans les armées françaises depuis 1945. Le mot simulateur renvoie instantanément aux plus connus d'entre eux que sont les simulateurs d'avion, grandes boîtes métalliques sur vérins aperçus dans de nombreux films comme *Ma vie en l'air*, film français réalisé par Rémi Bezançon, sorti en 2005. Cependant, derrière cette évidente simplicité se cache le mot de simulation car le simulateur n'est que le moyen (matériel ou logiciel) qui exécute la simulation¹. Il faut donc étudier la notion même de simulation et comprendre les interactions qui existent entre le modèle, c'est-à-dire une représentation conceptuelle du sujet, la simulation, qui est le processus d'activation du modèle pour étudier le comportement dynamique d'un système² et enfin le simulateur lui-même. Le sujet peut alors se redéfinir de la sorte : à partir des simulateurs utilisés par les armées françaises depuis 1945, quel est l'usage de la simulation dans la Défense ?

Un rapide tour de recherche des travaux déjà existants montre une première singularité : il n'existe pas de livre de référence sur le sujet ni de chercheur émérite en la matière. Diverses publications traitent de la simulation dans tel ou tel aspect d'une armée mais bien souvent en restreignant la simulation à un simulateur donné sur une période de temps courte. En se plaçant au niveau de la Défense et en essayant de traiter les termes avec rigueur, mon travail se propose modestement d'essayer de dresser des constantes, de relever des similitudes et de dégager des problématiques dans les approches réalisées par les armées françaises sur une

¹ DGA, Guide dictionnaire, *La simulation de défense*, édition 1997, p14

² *Ibid*

période de temps où la révolution informatique aura permis de nombreuses avancées techniques rapides.

L'absence de texte de référence se fait sentir au moment de la recherche. Si le guide dictionnaire de la Direction Générale pour l'Armement (DGA) est un ouvrage fondamental par son approche didactique, sa fonction catalogue ne permet pas de dégager des problématiques. Les publications sur l'usage des simulateurs par les armées françaises sont donc issues la plupart d'articles rédigés par des officiers supérieurs dans le cadre de travaux d'enseignement militaire supérieur. Bien que pertinents, ceux-ci sont essentiellement focalisés sur une approche métier au sein de leur branche de spécialité. Il faut attendre les années 90 avec une généralisation de l'informatique et donc de nombreux simulateurs pour qu'émergent des réflexions plus larges et que l'on pense doctrines, instruction, coûts,...les données précises sur les simulateurs provenant à la fois de dossiers presse d'organismes publics comme l'Office National d'Etudes et de Recherches Aérospatiales (ONERA) comme de groupes privés comme Canadian Aviation Electronics Ltd (CAE).

Les champs de la simulation étant très étendus même si on ne parle que d'usage militaire, un travail qui se voudrait exhaustif sur la période considérée (1945 à nos jours) constituerait sans nul doute un emploi à plein temps dans le cadre d'une thèse. Un catalogue exhaustif se révélant alors impossible, mon propos sera plutôt de mettre en avant des simulateurs emblématiques de certains points ou problématiques pour donner éventuellement envie au lecteur d'approfondir le simulateur en question ou de chercher l'état de l'art dans l'(les) armée(s) non mentionnée(s).

Le guide dictionnaire de la DGA, *La simulation de Défense*, édition 1997 constitue un point d'entrée pour établir une typologie de la simulation et surtout des champs de la simulation qui intéressent la Défense. Cette publication n'ayant pas de but historique, elle présente un état des lieux en 1997. Il devient donc intéressant de relire l'historique des simulateurs utilisés par les armées à travers le filtre des champs de la simulation. Ceci effectué, il conviendra de chercher, toujours avec ce même filtre, l'état de l'art de nos jours pour mesurer encore davantage les progrès accomplis. Enfin la lecture de l'actualité des armées, des publications commerciales de grands groupes de Défense sur la simulation ainsi que le suivi des programmes d'armement majeur des armées françaises permettra de discerner les lignes de force communes aux différentes simulations. La problématique pourrait alors se résumer de la sorte : l'usage des simulateurs par les armées françaises depuis 1945 démontre a priori une

volonté d'investir au fur et à mesure des progrès technologiques l'intégralité des champs de la simulation afin de bénéficier de ses avantages. Cependant, en quoi de simples outils revêtent désormais une importance majeure pour que la Défense y consacre aujourd'hui une partie conséquente de ses crédits ?

Pour y répondre, nous retracerons donc dans un premier temps l'usage des simulateurs par les armées françaises au travers de la thématique de la conquête des cinq champs de la simulation pour mettre en exergue, dans un second temps, que les simulateurs concourent pleinement à la politique de Défense de la France par les enjeux qu'ils représentent aujourd'hui.

1. LA CONQUETE DES 5 CHAMPS DE LA SIMULATION DANS LES ARMEES :

A. TECHNIQUE ET TECHNICO-OPERATIONNELLE

A nombre d'effecteurs équivalents, la supériorité technologique représente un atout majeur pour des forces armées. Ainsi, la recherche et le développement de nouvelles technologies intéressent tout particulièrement la Défense. Les simulations utilisées dans les parties amont des projets pour soutenir des études et procéder à des choix de conception font partie de la simulation technique. On rattachera également à ce type la simulation technico opérationnelle qui permet de décider au niveau du système d'armes. La simulation scientifique qui s'intéresse essentiellement aux phénomènes physiques appartient à cette classe. A partir de 1945, le point zéro de l'utilisation militaire reste le projet Manhattan avec la simulation pour créer la première bombe atomique américaine mais les français ne sont pas en reste avec des simulations théoriques relayées par des essais grandeur nature qui, faute d'ordinateurs, sont hautement hypothétiques³. Le développement des calculateurs permet ensuite de simuler des systèmes complexes comme les missiles avec SITRA 6D (Simulation de TRAjectoires à 6 Degrés de liberté) pour pouvoir étudier et valider des développements [comportement global, nombre d'étages, type de propulsion, lois de guidage et forme des ailettes,...] ou encore le corps humain pour optimiser la protection du combattant. (MIC : Modélisation Informatique du Combattant : modélisation des agresseurs (comportement des projectiles dans les tissus), des agressés (reconstitution volumique) et des atteintes (mise hors de combat)]

B. VALIDATION

Issu de la simulation scientifique, l'équipement est supposé fonctionner dans un domaine défini, face à contraintes données, en respectant un cahier des charges techniques afin de satisfaire un besoin exprimé en amont. La simulation au profit de la validation (technique et technico-opérationnelle) permet de recomposer l'environnement qui met

³ Le site pbillaud.fr, site biographique de Pierre Billaud, décédé le 10 février 2012, regroupe une série passionnante de ses souvenirs personnels d'atomiste militaire alors qu'il était ingénieur en chef de Gerboise Bleue.

l'équipement à tester dans les conditions requises de fonctionnement. Les bancs d'essai font partie de cette catégorie. On trouve ainsi Antonin Lapresle, succédant à Gustave Eiffel, qui construit de 1929 à 1935 à la demande du ministère de l'Air, la grande Soufflerie S1CH de Chalais –Meudon, qui sera utilisée de 6h à 22h pendant 20 ans. En parallèle, la France rapatrie d'Autriche en 1948 la S3CH, une soufflerie capable d'atteindre le mur du son. Suivent la S5Ch (1952) pour des écoulements jusqu'à Mach 3,2 puis la R3Ch (1965) au delà de Mach 4. Elles permettent d'étudier le comportement de profils tels que des ailes d'avions, des coques de sous marin ou encore des profils de missiles de croisière hypersoniques. Aujourd'hui le site de Modane abrite entre autres, la S1MA, la soufflerie sonique la plus puissante au monde (veine de 8m de diamètre sur 14m de long) qui permet d'y tester des maquettes suffisamment grandes pour implémenter dessus de nombreux détails voire le missile à échelle 1⁴. Au delà d'environnements physiques comme l'air ou l'eau, la simulation s'attelle à des environnements intangibles. Ainsi, le simulateur BEDYRA (Banc d'Evaluation Dynamique pour Radars et Autodirecteurs) (utilisé à partir de 1980 au Centre Electronique de l'Armement (CELAR) à Bruz, devenu maintenant DGA-MI (Maitrise de l'Information) permet de tester des autodirecteurs de missiles dans une chambre anéchoïde faradisée. Un panneau de points brillants permet de générer tout type d'environnement électromagnétique représentant des brouilleurs ou des cibles. L'utilisation de ce banc permet de tester des situations impossibles à réaliser en vol en raison de contraintes techniques ou soucis de discrétion. « Le lieu est unique en Europe. Une campagne de mesures (de deux à six mois) équivaut à 2 000 sorties de Rafale. »⁵

C. ETUDES OPERATIONNELLES

La simulation opérationnelle se définit à l'opposé de la simulation technique tout en étant complémentaire : elle se concentre sur la mise au point de tactiques ou de stratégies. Il s'agit de tester les façons d'utiliser le matériel seul ou en l'incluant dans un ensemble afin de produire l'effet recherché. La planification « à froid » entre dans cette catégorie. Issu du

⁴ Dossier de presse lors de la visite aux souffleries du centre ONERA de Modane de Thierry Repentin, Ministre délégué chargé des Affaires Européennes le samedi 22 février 2014.

⁵ Ouest France, Katia Malaret, Actualité/Défense. *Plongée dans l'ancre du secret-défense, à Bruz*. 06 Octobre 2014, Interview de Benoit Delahaye, responsable du bâtiment BEDYRA. (<http://www.entreprises.ouest-france.fr/article/defense-plongee-dans-lancre-secret-defense-bruz-06-10-2014-163126>, consulté le 7/5/2016)

Kriegsspiel du baron prussien Von Reisswitz en 1811, la planification à froid est restée l'apanage de l'Armée de Terre. Cependant, il faudra attendre les années 1990 pour que les progrès de l'informatique permettent la représentation graphique 3D de surface, ouvrant ainsi la voie à la modélisation numérique du champ de bataille. La France opte pour JANUS, un logiciel américain permettant de simuler des combats aéroterrestres jusqu'au niveau division, qu'elle francise et adapte à ses matériels. Depuis 2002, une version française est développée à partir du code source et en 2010, JANUS-France fait partie des premiers outils à se connecter avec les SIOC (Systèmes d'information opérationnels et d'information) ouvrant la voie à la simulation distribuée et partagée avec les simulateurs d'entraînements.

D. ENTRAÎNEMENT

Le niveau d'efficacité d'un équipement est lié à la compétence de son utilisateur. Pour cela, la simulation d'entraînement regroupe la formation et l'entraînement des opérateurs de systèmes d'armes (emploi tactique et technique) mais également des officiers des postes de commandement. Si le français Léon Levavasseur construit en 1910 le Tonneau Antoinette, c'est à l'américain Eward Link que l'on doit le premier vrai entraîneur de vol : le Link Trainer, qui sera utilisé jusque dans les années 1960. En 1961, la société LMT crée un simulateur pour le Mirage de Dassault en utilisant des transistors. La fidélité des simulateurs ne cesse alors d'augmenter au rythme des progrès technologiques. Ceux de l'informatique tout d'abord : les transistors se miniaturisent, la puissance de calcul suit la loi de Moore⁶ et en 1976 le *texture mapping* apparaît. Il s'agit d'habiller par une photo/image une forme simple à gérer par calcul (exemple pour un immeuble : simple habillage d'un parallélépipède au lieu de modéliser chaque fenêtre). Ceux de la technique enfin : la mise sur vérins hydrauliques des cabines des simulateurs permet alors de rendre les 6 degrés de liberté nécessaires pour représenter un mobile en mouvement. Chaque armée se dote donc de ce type de simulateur : simulateur du C160 Transall en 1965, simulateur de char Leclerc (SEE) en 1993 et simulateur de sous marin (SOUMENT) troisième génération en 1995. Le développement d'internet augmente encore l'intérêt de ces simulateurs par la mise en réseau à distance des systèmes d'armes concourant à la même mission.

⁶ Loi selon laquelle la puissance de calcul des microprocesseurs double tous les deux ans. Du nom de Gordon E. Moore, un des trois fondateurs d'Intel qui l'a énoncée.

E. AIDE A LA DECISION OPERATIONNELLE

Cette simulation regroupe l'ensemble des simulations qui aident à la préparation des opérations en temps de crise permettant d'élaborer les ordres. La planification « à chaud » ainsi que les domaines touchant au volet logistiques font partie de cette simulation. L'armée de terre utilise CARNEADE (Combat Aéroterrestre Représenté Numériquement pour l'Etude, l'Aide à la Décision et l'Entraînement) en tant que famille d'outils travaillant de concert afin de couvrir le plus grand nombre de champs de la simulation. CARPRO (Carnéade pour la Préparation des Operations) permet d'optimiser l'emploi d'une force de 10000 hommes sur un théâtre donné et face à une menace donnée. La possibilité pour le « joueur » de programmer ses actions et de les confronter à une programmation des forces ennemies rend compte de la pertinence de sa planification à court terme. La possibilité de prolonger la simulation par une partie tour à tour forme les joueurs à la conduite « à chaud ». Là encore, les progrès de l'informatique ont permis d'augmenter le côté immersif de la simulation par la reproduction graphique de plus en plus fidèle du champ de bataille. Cependant, ces progrès se sont également nourris des avancées dans la modélisation des comportements humains pour générer des éléments subjectifs comme la résilience ou le moral d'une troupe. Car bien plus que la représentation graphique, c'est bien les comportements et les modes d'actions de l'ennemi qui font la pertinence de ces simulations.

Les progrès techniques dans des domaines comme l'informatique ou la mécanique ont permis l'émergence d'une gamme complète de simulateurs à même de permettre à la Défense d'occuper les cinq champs de la simulation. Elle possède actuellement un parc conséquent avec certains équipements uniques en Europe. Cependant, derrière ce constat, se profilent aujourd'hui des enjeux majeurs pour la pérennité du modèle.

2. LES ENJEUX ACTUELS ET FUTURS

A. NORMALISATION VS SYSTEME PROPRIETAIRE

Le développement de simulateurs individuels, que ce soit un simulateur d'avion ou de char, a vite montré sa limite dans le cadre d'opérations impliquant un grand nombre de vecteurs. En effet, le respect de la doctrine, la bonne interaction entre les différents intervenants et les réactions saines à des situations imprévues font partie des compétences à développer au delà des simples compétences techniques de maniabilité. Il fallait donc pouvoir mettre en relation plusieurs simulateurs voire plusieurs simulations. La première norme d'interopérabilité apparue à la fin des années 1980 est la *Distributed Interoperability Simulation* (DIS). Elle permet essentiellement de standardiser le « temps réel » par un pas commun au centième de seconde. Elle est donc tournée vers les simulations d'entraînements ou la réaction humaine ne dépasse pas le dixième de seconde contrairement à des simulations techniques qui peuvent explorer la picoseconde (10^{-12} s) pour les réactions nucléaires. Bien que devenue la norme IEEE 1278 en 1995, DIS ne s'applique qu'à des simulateurs identiques. Pour des acteurs différents, une nouvelle norme est apparue en 1990, ALSP (*Aggregate Level Simulation Protocol*) qui permet la coordination des simulations « non temps réel ». Ainsi en 1994, les simulateurs Mirage 2000 d'Orange et de Cambrai sont mis en réseau via le protocole DIS et une liaison 64kbits et en 1996, la France participe à une fédération expérimentale ALSP OTAN distribuée sur plusieurs pays. Mais le pas le plus important vers la globalisation des environnements synthétiques est la création en 1995 de la norme HLA (*High Level Architecture*), standard de simulation distribuée de haut niveau comprenant une partie méthodologique fortement orientée vers la réutilisation des modèles. Cette norme américaine est retenue par l'Etat major des Armées pour les simulations de niveau opérationnel et stratégique en 1998 et est standardisée par l'IEEE 1516 en 2000.

Cependant, ces normes ne veulent pas dire que les modèles simulés sont identiques. Elles garantissent simplement que les modèles échangent des données standardisées concernant l'état des acteurs présents dans la simulation. Concrètement, un F16 et un Mirage 2000 pourront s'affronter en réseau mais les simulations qui permettent de modéliser le comportement de l'appareil reproduit par le simulateur du pilote ont toutes les chances d'être

différentes car propriétaires d'entreprises potentiellement concurrentes. Là s'arrête donc toute coopération et tout échange d'information. Les restrictions deviennent ainsi insurmontables dès que des considérations de secret défense apparaissent : quand on parle par exemple, du domaine de vol d'un rafale ou de la base de donnée terrain pour mener des simulations de raid nucléaire avec tir de missile ASMP-A (Air-Sol Moyenne Portée – Amélioré).

B. JEUX VIDEO ET SIMULATION MILITAIRE

Les jeux vidéos pouvant intéresser le monde militaire sont des jeux de simulation, des jeux de stratégie en temps réel (RTS), des jeux de tirs subjectifs (FPS) ou encore des jeux en ligne multi-joueurs (MMORPG) auxquels viennent s'ajouter les « *serious game* » qui ont pour but d'instruire à travers le jeu. Ils présentent au premier abord des avantages importants. La distribution grand public permet un achat à un tarif sans commune mesure avec un développement industriel spécifique. La popularité du jeu, donc sa rentabilité, est recherchée à travers le réalisme « photo » de ses représentations graphiques et sa facilité de prise en main, fruit d'études ergonomiques poussées. Les meilleurs jeux sont donc beaux et « *user friendly* », ce qui correspond à fidèles et peu chronophages en temps d'apprentissage du point de vue du militaire. Cependant, la transposition en tant qu'outil militaire se heurte à des difficultés. La modélisation peut être très sommaire car, destiné avant tout à la distraction, le jeu va privilégier le « *gameplay* » au réalisme des effets des armes et la résilience de l'avatar du joueur. Le terrain sera incompatible avec de la géo localisation et une utilisation de senseurs de navigation. La « *customisation* » même à travers des éditeurs internes ou externes peut aboutir à doter un fantassin d'un lance-roquette mais celui-ci aura le même effet qu'une arme de base si les modèles balistiques et de destruction ne sont pas implémentés dans le jeu. Enfin, la pérennité d'un jeu est très relative et même de très bons jeux ont vu leur fin précipitée par manque de rentabilité. Malgré cela, l'Armée de Terre utilise INSTINCT (INSTruction de l'INfanterie au Commandement et à la Tactique) à l'Ecole d'Infanterie pour l'entraînement de ses groupes et sections de combat. Il a été créé à partir de *Ghost Recon* (Ubisoft, 2001). L'Ecole de cavalerie, quant à elle, utilise le logiciel FRENCH POINT, créé à partir du jeu *Operation Flashpoint* (Codemasters, 2001) pour l'apprentissage des savoir-faire tactiques individuels et collectifs.

C. COOPERATION MILITAIRE ET INFLUENCE

La formation coûte très cher. En effet, par analogie avec l'industrie, le *process* de former un personnel à un niveau donné demande énormément de ressources tant financières, techniques qu'humaines : les instructeurs sont des personnels qui ne sont pas en opération. Il leur faut des locaux, des outils pédagogiques (cout unitaire du simulateur A400M : environ 50M€ selon nos propres informations) et surtout il leur faut une expérience reconnue tant dans le domaine concerné qu'en pédagogie. La volonté d'acquérir une capacité pour un Etat passe donc, au delà des ressources financières et matérielles, par le besoin de se constituer des primo-formateurs. Forte de sa très grande expérience opérationnelle, l'Armée française est donc régulièrement sollicitée pour faire de la formation au profit d'autres armées. Se présentent alors deux cas. Dans le premier, la simulation est légère et peu onéreuse à acquérir, le pays hôte se porte acquéreur et un partenariat se noue avec des instructeurs français pour « amorcer la pompe » et faire des remises à niveau de façon périodique. L'influence militaire de la France augmente, en plus des retombées économiques liées aux couts d'acquisition et d'exploitation ainsi qu'aux effets de halo pour les matériels de guerre français. C'est le cas de la construction du centre de simulation tactique JANUS-France destiné à la formation et à l'entraînement des officiers d'état-major de l'armée libanaise qui a été inauguré le 19 septembre 2006 par les ministres de la Défense des deux pays accompagnés de l'Ambassadeur de France et des plus hautes autorités militaires libanaises⁷. C'est également le cas, en 2007, de l'installation d'INSTINCT à l'Ecole des officiers d'active à Thmat Pong au Cambodge qui laisse entrevoir de nouveaux contrats auprès d'autres unités cambodgiennes qui se sont montrées intéressées⁸.

Dans le deuxième cas, la simulation est trop onéreuse à acquérir et le flux complet des stagiaires est intégralement absorbé par le pays instructeur. La grande dépendance qui en résulte est un atout diplomatique majeur. De surcroit, la France, pour doper davantage ses exportations de matériels de guerre, a fait le choix d'impliquer les Armées dans une mission de SOUTEX (soutien à l'exportation) sur leurs deniers propres. Ainsi la formation des

⁷ Site de l'ambassade de France au Liban. <http://www.ambafrance-lb.org/Le-Centre-de-simulation-JANUS>

⁸ Jean Pierre Sovannavong, COOPÉRATION - Un logiciel de simulation militaire français pour les Forces Armées Royales Khmères (www.lepetitjournal.com) 3 mai 2007

personnels égyptiens est faite à Mont-de-Marsan par l'Armée de l'Air pour le contrat Rafale. Il en résulte donc un atout économique en plus de l'atout politique.

D. PROGRAMME D'ARMEMENT ET SOUTENABILITE FINANCIERE DU MAINTIEN EN CONDITION OPERATIONNELLE (MCO)

Les contraintes budgétaires et les besoins des armées face à des menaces toujours changeantes aboutissent à une équation fort compliquée à résoudre pour les programmes d'armements. En effet, le nombre croissant de situations auxquelles peut être confronté l'équipement l'oriente légitimement vers une forte polyvalence. Cependant, l'ajout de capacités entraîne mathématiquement une hausse du prix unitaire mais aussi de son MCO puisque le matériel est plus complexe et à budget constant, aboutit à une commande de moins d'exemplaires. Or cette complexité se répercute sur les opérateurs à travers le nombre d'heures d'entraînement nécessaires pour en acquérir la maîtrise. Cela nécessite de dédier des heures de fonctionnement à l'instruction et non aux opérations. Mais le nombre restreint d'équipements et la forte pression opérationnelle le permettent difficilement. Face à cette impasse, la seule solution passe par la simulation. En effet, une simulation distribuée permet de rentabiliser toujours davantage l'acquisition des onéreux simulateurs d'entraînement à haut niveau de fidélité. Ainsi la soutenabilité financière du programme français pour l'A400M est tout entière bâtie sur les 2 simulateurs Full Flight Simulator (FFS) pourtant achetés au prix unitaire d'environ 50M€. En effet, le coût d'entretien programmé de l'avion lui octroie un potentiel technique de 55 heures de vol par mois. L'utilisation opérationnelle de l'avion nécessite 2,3 équipages par avion en dotation. Les capacités de l'avion telles qu'elles seront délivrées par l'avionneur et le Centre d'Expertise Aérienne Militaire (CEAM) demanderont une formation initiale et un entraînement récurrent aux équipages désignés pour les acquérir et les maintenir qui vont au delà du potentiel technique de l'avion. Seule l'utilisation quasi H24 des deux FFS permet de délivrer les heures de mission nécessaire à maintenir le niveau d'efficacité des équipages. Ces derniers, certifiés *Level D* (NDLR : c'est à dire qu'ils reproduisent parfaitement le comportement de l'avion tout en ayant un rendu visuel de l'extérieur parmi les plus réalistes en la matière. Le *level D* implique un écart nul sur les 5000 points de comparaison de comportement entre l'avion et le simulateur) permettent d'être qualifiés sur l'avion uniquement par une instruction au simulateur. (NDLR : l'Armée de l'Air a fait le choix de conserver des vols d'instruction supplémentaires afin de garantir une aisance

supérieure en maniabilité à ses pilotes). Au delà de l'instruction de base, la fidélité de la reproduction visuelle, la mise en réseau des 2 FFS et la possibilité de construire des scénarii de missions complexes en section de 2 avions permettent de réaliser les formations tactiques les plus avancées sans consommer de potentiel technique mais en conservant la plus value de la simulation du fait de la maîtrise totale par l'instructeur de l'environnement.

E. AVANCE TECHNOLOGIQUE ET INTERETS VITAUX

Le développement de nouveaux systèmes d'armes ou encore de nouvelles tactiques demandent de nombreux essais qui font intervenir la simulation dans une très large mesure. La recherche et développement (R&D) existe donc aussi dans le domaine de la simulation pour arriver aux meilleurs outils car il faut une adéquation la plus parfaite possible entre la précision des données d'entrée et la finesse de leur traitement pour garantir, à travers la précision du rendu, la fidélité de la simulation par rapport au phénomène réel. Les moyens mis en jeu peuvent alors prendre des proportions gigantesques pour arriver au but recherché. Dans le cas de la France, il en va ainsi en 1996 du programme « Simulation » qui est le nom définitif du programme « Préparation à la limitation des essais nucléaires » (PALEN) présenté par le président François Mitterrand le 15 décembre 1993. Il permet ainsi aux physiciens de la Direction des applications militaires (DAM) du Commissariat à l'Energie Atomique (CEA) de garantir la fiabilité, la sûreté et les performances des armes nucléaires. Le programme vise à reproduire par le calcul les différentes phases de fonctionnement d'une arme nucléaire pour garantir ses performances sans avoir recours à un nouvel essai nucléaire. Il repose d'une part sur des équipes scientifiques de haut niveau capables de théoriser les phénomènes physiques et d'analyser les données récoltées au cours des 210 essais nucléaires français et, d'autre part, sur de grands équipements indispensables pour résoudre et valider les équations modélisant le fonctionnement des armes nucléaires : supercalculateurs, machine radiographique AIRIX, laser Mégajoule. Le supercalculateur Téra 100, opérationnel depuis 2011 est capable d'effectuer un Pétaflop (10^{15} opérations par secondes). Il se classe parmi les tous meilleurs du monde et sera remplacé par le Téra 1000 en 2017. Plus impressionnant encore est le Laser Méga Joule (LMJ), installation opérationnelle fin 2014 qui n'a son égale au monde qu'aux Etats Unis avec le *National Ignition Facility* (NIF). Le LMJ est capable de délivrer sur une cible sphérique de 2mm de diamètre, en une impulsion de quelques milliardièmes de seconde

une énergie lumineuse supérieure à un million de joule qui permet de reproduire les conditions nécessaires à la fusion thermonucléaire.

Ce projet pharaonique aura permis à la France de signer le 24 septembre 1996 le Traité d'Interdiction Complète des Essais nucléaires (TICE) et de concevoir par la suite la Tête Nucléaire Aéroportée (TNA) équipant l'ASMP-A uniquement par la simulation.

CONCLUSION

Si quelques simulateurs comme le tonneau Antoinette ou le Link Trainer pour l'aviation militaire existent avant 1945, c'est bien le début des années 50, avec l'avènement des calculateurs, analogiques d'abord puis numériques, qui a donné aux simulateurs la possibilité de représenter plus fidèlement le comportement de l'objet modélisé. Il s'ensuit alors une phase prodigieuse de développement des simulateurs avec la croissance exponentielle des capacités de calcul des ordinateurs. Plus généralement, les possibilités techniques et les avancées théoriques permettent d'arriver aujourd'hui à une gamme de simulateurs capables de couvrir les 5 champs militaires de la simulation (Technique et Technico opérationnelle, Validation, Etudes opérationnelles, Entraînement et Formation, Aide à la décision opérationnelle) que les armées françaises ont investis jusqu'à étudier les avancées des jeux vidéos dans le domaine de l'entraînement et de la formation. Cependant, ces simulateurs s'inscrivent dans des budgets de défense contraints et représentent un investissement conséquent au détriment, parfois, de dotations supplémentaires en systèmes d'armes. Concernant les simulateurs de systèmes d'armes, les armées se retrouvent face à un dilemme : les matériels étant de plus en plus techniques, ils nécessitent de plus en plus d'entraînements pour former les opérateurs alors que ce potentiel d'instruction est de plus en plus réduit du fait du coût du MCO des matériels. La seule réponse actuelle est le recours à la simulation et l'usage de simulateurs. Mais ceux ci, devant être le plus réaliste possible pour se substituer à un entraînement sur le matériel réel, coutent d'autant plus chers et deviennent ainsi des enjeux majeurs des programmes d'armement et de coopération internationale. La France va plus loin encore dans cette démarche par la décision unilatérale de faire reposer la protection de ses intérêts vitaux sur des armes nucléaires dont la fiabilité, la sûreté et les performances sont uniquement garanties par la simulation.

Ainsi la culture de la simulation doit irriguer le monde de la Défense dans son intégralité, jusqu'aux plus haut niveau de décision. En effet, elle représente la seule sortie acceptable à la pression opérationnelle qui tend à réduire d'autant les crédits dédiés à l'instruction. La tendance lourde consistant à se féliciter de l'excellence opérationnelle actuelle de nos forces cache en son sein la tentation d'obérer la préparation de l'avenir en lui préférant les succès en opération. "*Être et durer*", devise créée par le général Marcel Bigeard pour le 3^e régiment de parachutistes d'infanterie de marine, résume bien cette idée. Les

compétences doivent être régénérées au fur et à mesure que les hommes « s'usent » et quittent l'opérationnel. Et plus particulièrement quand le « taux d'usure » est à un niveau jamais atteint par les armées françaises. Ces compétences nécessitent un entraînement important qui n'est matériellement tenable que par un volet simulation suffisamment étoffé. Des investissements matériels et humains sont donc aujourd'hui nécessaires pour garantir l'avenir. Cette prise de conscience est peut être en bonne voie quand on regarde le programme SCORPION de l'Armée de Terre qui fait de la simulation la pierre angulaire des systèmes d'armes ou quand le Centre Interarmées de Concepts, de Doctrines et d'Expérimentations (CICDE) produit une réflexion doctrinale sur la simulation en appui à l'engagement opérationnel des armées⁹. Premier jalon vers une doctrine interarmées ?

⁹ CICDE, (RDIA)-2015/002_SIMU-OPS(2015) du 29 juin 2015.

GLOSSAIRE :

ASMP-A	Missile Air-Sol Moyenne Portée – Amélioré équipé d’une tête nucléaire.
AIRIX	Machine radiographique du programme « Simulation »
ALSP	<i>Aggregate Level Simulation Protocol</i> . Norme pour la standardisation du « temps non réel »
BEDYRA	Banc d’Evaluation Dynamique pour Radars et Autodirecteurs
CAE	Canadian Aviation Electronics Ltd
CARNEADE	Combat Aéroterrestre Représenté Numériquement pour l’Etude, l’Aide à la Décision et l’Entraînement
CARPRO	Carnéade pour la Préparation des Operations
CEA	Commissariat à l’Energie Atomique
CEAM	Centre d’Expertise Aérienne Militaire
CELAR	Centre Electronique de l’Armement
CICDE	Centre Interarmées de Concepts, de Doctrines et d’Expérimentations
DAM	Direction des applications militaires du CEA
DGA	Direction Générale pour l’Armement
DGA-MI	Branche Maitrise de l’Information de la DGA, anciennement CELAR
DIS	<i>Distributed Interoperability Simulation</i> . Norme pour la standardisation du « temps réel »
FFS	<i>Full Flight Simulator</i> . Simulateur reproduisant le mouvement d’un cockpit sur 6 degrés de liberté.
FPS	<i>First Person Shooter</i> . Jeux de tirs subjectifs (à la première personne)
HLA	<i>High Level Architecture</i> . Norme pour la standardisation des échanges de données
IEEE 1516	Norme N°1516 de l’ <i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i> pour la DIS
INSTINCT	INSTRUction de l’INfanterie au Commandement et à la Tactique
JANUS	logiciel américain permettant de simuler des combats aéroterrestres jusqu’au niveau division
MIC	Modélisation Informatique du Combattant
MMORPG	<i>Massively Multiplayer Online Role Playing Game</i> . Jeux en ligne multi-joueurs
NIF	<i>National Ignition Facility</i> . Equivalent américain du Laser Méga Joule
ONERA	Office National d’Etudes et de Recherches Aérospatiales
PALEN	« Préparation à la limitation des essais nucléaires »
RTS	<i>Real-time Strategy</i> . Jeux de stratégie en temps réel
SCORPION	Programme d’armement de l’Armée de Terre pour le renouvellement de l’ensemble de ses véhicules de combat.
SEE	Simulateur de char Leclerc
SIOC	Systèmes d’information opérationnels et d’information)
SITRA 6D	Simulation de TRAjectoires à 6 Degrés de liberté.
SOUMENT	Simulateur de sous marin nucléaire lanceur d’engins.
SOUTEX	Soutien à l’exportation

BIBLIOGRAPHIE

Publications institutionnelles :

- Entretiens sciences et défense "Simulations numériques", DGA, 1989, 220 pages
- Science et défense 93, DGA, 1993
- Dossier « la simulation », *Défense nationale* n°5, mai 1996
- DGA, *La Simulation de défense : guide dictionnaire*, 1997.
- CHEAr, *Simulation et préparation du futur*, VVF de Dourdan / Laboratoire de stratégie de l'armement / Centre des hautes études de l'armement (Compilation d'articles issus de différentes publications faisant le point sur les technologies de simulation et de modélisation, et de leur emploi possible en matière de recherche militaire.) 9-10 décembre 1999
- Alain CHRISTIENNE, *Simulation : de l'entraînement à l'aide à la décision*. Défense Nationale ,02-2003 ,2003 ,123 à 134
- CEA, *Pérennité de la dissuasion : le programme simulation. Le rôle du LMJ : valider la chaîne de simulation numérique et certifier les experts* / Alain Delpuech : Avancement du programme simulation / Daniel Verwaerde : L'ouverture des installations du programme simulation : une opportunité pour la recherche et la technologie française / Edwige Bonnevie / [édité par la direction générale du CEA], 2004
- Association Virtu'Ailes, association pour remettre en activité le simulateur concorde d'Air France, créée en mai 2006, dossier thématique : *Histoire de la simulation* (<http://assovirtuailles.free.fr/index.php>, consulté le 7/5/2016)
- Emmanuel CHIVA, Frédéric MORINIERE, *Tout ce qui n'est pas la guerre est simulation*¹⁰, Défense Nationale ,06-2006 ,2006
- CHEAr, 45^e session nationale, *Comité 2 : Avenir de la simulation des forces : quels bénéfices pour le fonctionnement et quelles limites ?* 2009
- Ambassade de France au Liban, *Le Centre de Simulation JANUS*, dernière modification : 04/05/2010, (<http://www.ambafrance-lb.org/Le-Centre-de-simulation-JANUS>, consulté le 7/5/2016)
- ONERA, dossier de presse, visite du ministre chargé aux affaires européennes aux souffleries de Modane, 17-18/11/2014 (http://www.onera.fr/sites/default/files/espace-presse/dossier-de-presse/Dossier-presse_Voyage-ONERA-Modane-17-et-18-11-14.pdf, consulté le 7/5/2106)
- CDEF, Doctrine, Tactique N°24, *La simulation : des outils modernes au service de la formation, de la préparation et de l'engagement opérationnel*. juillet 2012
- TIM, n°232, *DOSSIER : La simulation opérationnelle*, mars 2012, (http://www.bleuonquille.fr/documents/docs/la_simulation.pdf, consulté le 7/5/2016)

¹⁰ La simulation informatique modélise aujourd'hui le terrain et les unités amies et ennemies permettant ainsi la préparation opérationnelle des forces. Bien conçue pour le combat conventionnel en zone ouverte, elle doit aujourd'hui faire face à l'impérieuse situation de plus en plus complexe au milieu des populations, et face à un ennemi non classique. S'appuyant sur les nouvelles simulations comportementales, cet article décrit la manière dont la technologie essaie de répondre à ce défi, en restant toujours au service de l'homme

- CDEF, *La simulation pour la préparation opérationnelle* / [rédacteur, Colonel Philippe Coste / introduction, Général de division Olivier Tramond] / Centre de doctrine d'emploi des forces, 2012
- CESAT, Pensées Mili-Terre, *La simulation opérationnelle au profit de l'armée de Terre*, Par Monsieur HENRI BUENAVIDA (président du groupe ADIS) (http://www.penseemiliterre.fr/la-simulation-operationnelle-au-profit-de-l-armee-de-terre_2013663.html, consulté le 7/5/2016)
- CESAT, Pensées Mili-Terre, *Entraînement réel et simulé : une complémentarité incontournable pour les armées*, Par le Chef de bataillon Nicolas PIERSON (http://www.penseemiliterre.fr/-entraînement-reel-et-simule-une-complémentarité-incontournable-pour-les-armees_2015571.html, consulté le 7/5/2016)
- Mandat du groupe ADIS (23/09/15) Armées, Académie, DGA, Industrie pour la Simulation. Glossaire de simulation ADIS (issu glossaire OTAN du NMSG (AMSP-02(A))) (<http://simdef-adis.fr/?q=mandat-adis>, consulté le 7/5/2016)

Publications officielles :

- EMAT, *Notice sur l'emploi et la mise en oeuvre de la simulation : approuvée le 8 juin 1972 sous le numéro 5314/DN/EMAT/3/TAC / Ministère d'État Chargé de la Défense Nationale, État-Major de l'armée de Terre - 3e bureau, 1972*
- EMAT, *Politique d'emploi du système simulation opérationnelle de l'Armée de terre pour la préparation à l'engagement*. 10/10/2013
- EMAT, *Concept d'emploi de la simulation Armée de terre*, 09/07/2013
- CICDE, *RDIA-2015/002 Simulation en appui à l'engagement opérationnel des armées*, RDIA-2015/002_SIMU-OPS(2015) N° 119/DEF/CICDE/NP du 29 juin 2015 9 juin 2015

Revue spécialisée :

- *Les cahiers du jeu vidéo*, n°1, (numéro spécial sur la guerre), Ed. Pix'n Love, octobre 2008 (quelques articles sont consacrés au wargame, et à la simulation de guerre dans le jeu vidéo).

Publications de stagiaires de l'École de Guerre :

- CDT GASSMANN, *Simulation des opérations militaires à l'aide de calculateurs électroniques*, Ecole Supérieure de Guerre. Thèse. 76ème promotion. 1962-1964
- Ecole supérieure de guerre, *Audiovisuel, simulation et formation du chef au combat*, 1984, CDEM GC 96.5
- DEMS, *Etude d'une politique réaliste de la simulation dans l'Armée de Terre* / 101ème promotion de l'Ecole Supérieure de Guerre / Direction de l'Enseignement Militaire Supérieur de l'Armée de Terre, Ecole Supérieure de Guerre. 1989
- Michel PERCIER, *Proposition d'axes de formation pour développer les compétences sur simulateur*, 1995, CDEM 359.52 PER
- CDT BOUQUIN, *Réalisme de l'entraînement et simulation*, Tribune (1a) ,5 ,1995
- LCL JUMELET, *Quelles limites pour la simulation ?* Tribune (1a) ,5 ,1995

- LCL POEDRAS, *Que peut-on attendre de la simulation opérationnelle ?* Tribune (1a) ,7 ,1996
- CDT ROOS, *Vers un renouveau de la simulation de vol dans l'Armée de l'air*, Tribune (1a) ,7 ,1996
- LCL CROIZIER, *DIS, quel avenir pour la simulation distribuée ?* Tribune (1a) ,7 ,1996
- DEMS/CSEM, *Simulation opérationnelle : les besoins de l'armée de terre à l'horizon 2005* / chef de bataillon Chary, cen Demain, commandant Hubert,... [et al.] / groupe recherches et études complémentaires à option de la 111ème promotion du Cours Supérieur d'Etat-major / Direction de l'Enseignement militaire supérieur de l'armée de terre, 1997
- Lcl Damien Dubus, *La simulation appliquée aux opérations aériennes*, CESA 1997
- Danielle SAMMUT *Simulation et préparation du futur*. Tribune (1a), 12 ,1997
- Bernard COURREGES D'USTOU, *Simulation et aide au commandement opérationnel*. Tribune (1a) ,9 ,1997
- Denis QUATREFAGES, *Simulation : le chaînon manquant*. Tribune (1a) ,13 ,1998
- Michel FONVIEILLE, *La simulation du combat aérien*, CDEM CESA 1998-01
- Jean-Marie MONOT, *Quelle simulation pour le Rafale ?* Tribune (1a), 19 ,1999
- Groupe D10 CID1999-2000, *Evaluation de l'intérêt de simulation*, thèse mémoire (Il s'agira de définir, dans le cadre du contrôle gestion, des méthodes, des indicateurs (ratios, tableau de bord, ...) permettant d'évaluer les services rendus par la simulation en terme de qualité, d'économie et de délais. L'étude abordera les domaines suivants : l'instruction des cadres, l'entraînement des forces, la doctrine.)
- Trévor HILL, *La place de la simulation dans l'entraînement de l'Armée de terre professionnalisée de 2002*. Tribune (1a) ,21 ,2000
- Didier TISSEYRE, *Simulation opérationnelle et nation cadre, du virtuel au réel*. Tribune (1a) ,29 ,2003
- Jean-Marc TEISSIER, *La mesure du facteur humain dans la simulation d'un système de forces*. Tribune (1a) ,33 ,2004

Articles de presse :

- Lepetitjournal.com, Jean Pierre Sovannavong, COOPERATION/ *Un logiciel de simulation militaire français pour les Forces Armées Royales Khmères*, 3 mai 2007 (<http://www.lepetitjournal.com/cambodge/accueil/actualite/14327-coopation-un-logiciel-de-simulation-militaire-frans-pour-les-forces-arm-royales-khms>, consulté le 7/5/2016)
- Ouest France, Katia Malaret, Actualité/Défense. *Plongée dans l'ancre du secret-défense, à Bruz*. 06 Octobre 2014, Interview de Benoit Delahaye, responsable du bâtiment BEDYRA. (<http://www.entreprises.ouest-france.fr/article/defense-plongee-dans-lancre-secret-defense-bruz-06-10-2014-163126>, consulté le 7/5/2016)

Site biographique :

- Pierre Billaud, atomiste français et ingénieur en chef de Gerboise Bleue. (<http://pbillaud.fr/index.html>, consulté le 7/5/2016)