

COMITÉ #2

Avenir de la simulation
pour l'entraînement des forces :
quels bénéfices pour le fonctionnement
et quelles limites ?

La simulation est devenue incontournable pour aider à la maîtrise de sociétés marquées par la mondialisation et la complexification. Ce terme regroupe des notions aussi variées que l'aide à la décision stratégique, la conception de pièces mécaniques élémentaires ou la formation du personnel.

Les interventions des forces armées se caractérisent par l'emploi de systèmes d'armes de plus en plus sophistiqués dans des contextes très diversifiés tant du point de vue du rapport de forces que de celui du théâtre d'action. L'emploi de la force doit maîtriser le risque d'erreur afin de répondre aux objectifs militaires tout en gérant la médiatisation du conflit.

Dans ce contexte, la formation et l'entraînement des militaires représentent des enjeux primordiaux pour les nations. Le présent rapport est centré sur l'apport de la simulation pour ce thème pris au sens anglo-saxon du terme training.

Une première partie est consacrée à un état des lieux de la simulation dans les armées en France et l'étranger et dégage des orientations. Dans sa deuxième partie, le rapport approfondit l'analyse suivant quatre angles : technologique, facteur humain, culturel et budgétaire et formule diverses recommandations.

ÉTAT DES LIEUX

L'intérêt de la simulation est unanimement reconnu. Force est néanmoins de constater que les définitions du terme sont nombreuses et peu cohérentes. Il en résulte un paysage hétérogène dans lequel le foisonnement d'énergie consacrée produit des résultats en deçà des attentes.

Par ailleurs, pour de nombreux décideurs opérationnels, la simulation demeure, à des degrés divers, assimilée à une menace vis-à-vis de l'activité de terrain. De fait, les choix de priorités vont à l'encontre de l'efficacité globale. De plus, l'absence de vision commune partagée conduit à des actions isolées, sans cohérence garantie.

Il apparaît indispensable d'adopter un processus de standardisation des termes et des moyens aboutissant à la mise en place d'une politique interarmées et interalliées. Il s'agit là d'optimiser l'emploi des ressources disponibles pour répondre au mieux à l'évolution permanente des besoins (environnement politico-militaire, nature des conflits) et produire les outils permettant de les satisfaire.

APPROCHE THÉMATIQUE

La technologie évolue à un rythme soutenu et régulier sans qu'il soit possible d'identifier à ce stade une limite à ce processus. Aujourd'hui, tout progrès technologique, matériel et logiciel, est systématiquement et immédiatement mis à profit pour améliorer les outils de simulation et répondre ainsi partiellement aux besoins en attente.

Pour autant, l'attractivité de ces outils n'est pas systématiquement en adéquation avec les attentes des utilisateurs parmi lesquels ceux issus de la jeune génération, imprégnés de l'univers des jeux vidéo, ne sont pas les moins exigeants.

L'exemple des Serious Games constitue une voie possible d'inspiration afin de proposer in fine des outils à coût modéré et où chacun prend goût à se former.

La prise en compte du facteur humain demeure, en dépit des avancées technologiques permanentes, un problème non résolu en regard des limitations qui demeurent dans la représentativité des modèles. Il s'agit de trouver un équilibre entre perception par l'être humain (physiologique, psychologique) et modélisation des comportements et des environnements. Face à cette problématique, le concept de simulation embarquée (Embedded training) peut constituer une voie de progrès intéressante.

Le facteur culturel reste encore dimensionnant. Si, pour la jeune génération, la simulation constitue un acquis dont il n'est plus envisageable de se passer, il reste à mener un travail de conviction vis-à-vis des décideurs. Ceux-ci sont aujourd'hui acquis à l'intérêt de la simulation ; pour autant, les investissements à consentir pour atteindre des niveaux supérieurs de performance et d'emploi restent à obtenir.

L'approche budgétaire se révèle particulièrement difficile à exploiter du fait, d'une part de la pauvreté des informations disponibles et de la diversité des produits en service et d'autre part, de l'absence d'une démarche systématisée sur le coût-efficacité. L'intérêt économique d'un outil de simulation ne doit pas se mesurer au seul critère d'investissement mais bien dans le cadre d'une politique globale de formation et d'entraînement.

Des recommandations, issues de cette réflexion collégiale, sont formulées au fil du développement de chacun des thèmes traités.

Que ce soit dans la période récente ou en se projetant sur l'avenir, une des principales caractéristiques de l'évolution du monde est la complexification. Il en va de même pour le domaine de la défense et de la sécurité. Les analyses récentes (Livre blanc sur la défense et la sécurité nationale) ont bien montré l'élargissement du spectre des risques, l'inadéquation d'une approche strictement nationale pour agir et la nécessité de définir précisément les outils adaptés tant d'un point de vue de la nature des effets à produire que de leur efficacité.

Nos armées sont de ce fait appelées à mettre en œuvre des équipements de plus en plus complexes, à définir des doctrines d'emploi répondant aux multiples menaces et à intervenir dans des opérations très souvent internationales, pour des missions dépassant largement la seule projection de puissance et dans des contextes géostratégiques très différents.

La responsabilité des Nations dans la préservation de la paix, les rapports de force asymétriques, la pression médiatique globale n'autorisent aucune erreur dans les interventions militaires. La professionnalisation des armées ne peut apporter une réponse à la garantie d'efficacité que si les compétences sont au plus haut niveau.

La formation et l'entraînement des forces sont donc fondamentales. La profusion de moyens et les performances technologiques ne sauraient produire les justes effets, sans les hommes aptes à les mettre en œuvre avec discernement.

Seulement, l'apprentissage des actions de défense militaires n'est pas un enseignement classique. Il doit se traduire par la maîtrise de l'utilisation des équipements et des procédures dans un contexte de stress intense (et le mot est réducteur). La formation nécessite de couvrir des connaissances militaires générales (comportement, mode opératoire, utilisation des équipements...) mais aussi l'ensemble des actions tactiques envisageables, et ce dans une approche de plus en plus interopérable. De plus, la forte rotation des personnels, nécessairement jeunes durant leur période active, impose de renouveler sans cesse cette formation, elle-même évolutive.

L'investissement (calendaire, humain, technique et financier) pour l'acquisition et le maintien d'un niveau d'entraînement autorisant les opérations réelles est donc très lourd pour les armées. Or la réduction de leur format et de leurs moyens (moins nombreux et au

potentiel d'utilisation à préserver), les contraintes budgétaires, les capacités à disposer des espaces représentatifs, les normes environnementales, la complexification des exercices sont autant de facteurs qui limitent les entraînements "grandeur nature".

Il est donc légitime de s'interroger sur une évolution des logiques de formation et d'entraînement en privilégiant davantage le recours à la simulation afin de permettre une réduction de l'utilisation des équipements réels.

En partant d'une analyse de l'existant, et en tentant de se projeter dans un horizon temporel maximal de trente ans, ce rapport se propose d'étudier l'avenir de la simulation pour l'entraînement des forces. L'horizon temporel a été limité aux trente prochaines années pour rester en cohérence avec le Plan prospectif à 30 ans, mais apparaît déjà très ambitieux compte tenu de l'évolutivité des outils de technologies informatiques.

Plus précisément, il s'agit d'étudier les bénéfices et limites des outils de simulation pour l'entraînement des forces, entraînement pris au sens anglo-saxon plus large de *training* qui regroupe les aspects formation et entraînement. L'étude ne traite donc pas de la simulation comme aide à la conception des matériels en tant que tel. La présentation d'un état des lieux dans le domaine de la simulation permet d'appréhender les bénéfices et limites des systèmes existants (ou futur de court terme) et d'en tirer des orientations pour l'avenir.

Dans un second temps, par une approche thématique, il s'agit d'analyser les progrès envisageables et les limites prévisibles de la simulation pour l'entraînement des forces. Ces analyses restent principalement qualitatives. S'il est possible de distinguer les axes d'évolutions et les potentialités des nouveaux outils, leurs applications concrètes vont dépendre d'un certain nombre d'aspects dépendants de la nature des équipements et du niveau des entités concernées. Il paraît dès lors difficile, dans le cadre de cette étude et en tenant compte de ces variables, de quantifier économiquement et de façon crédible, l'apport de la simulation.

Toutefois ces analyses permettent ainsi de proposer des recommandations qui seront autant de pistes à explorer pour le développement de la simulation de demain.

Il est à noter que l'emploi du terme "simulation" dans la suite du document doit être compris comme la simulation d'entraînement appliquée aux besoins militaires.

ÉTAT DES LIEUX

Quelques définitions

Périmètre et définition de la simulation

Le terme "simulation" n'a pas de définition unique. Il est souvent utilisé sous forme générique, alors même qu'il représente des notions très différentes, ce qui perturbe la représentation que l'on peut s'en faire.

De façon la plus générale, on parle de simulation par opposition au réel : « Tout ce qui n'est pas combat réel est simulation » (général Gray).

La simulation permettant de représenter la réalité, elle est donc intimement associée à la notion de modèle qui est une reconstruction artificielle d'un système, d'une entité, d'un phénomène ou d'un processus. Par essence, le modèle contient des limites, des imperfections, des domaines qui ne sont pas exactement conformes à la réalité.

La simulation est une activation interactive de modèles (donc évolue en fonction du temps). Elle nécessite des moyens de mise en œuvre dont le plus évident est l'informatique, mais peut également intégrer des équipements, des acteurs, des situations réelles.

La simulation ne peut se substituer complètement à la réalité et son utilisation doit se faire en ayant bien défini au préalable son champ d'application et l'objectif recherché.

On distingue donc deux critères principaux pour classer les techniques de simulation :

Les champs d'application

- la prospective, les études et évaluations, la doctrine ;
- la formation et l'entraînement ;
- l'emploi, la planification, la préparation et la conduite d'opération, l'aide à la décision.

La composition ou le niveau

- le système de défense (stratégique) ;
- le système de force (opératif) appelé niveau 3 ;

- le système de combat (tactique) appelé niveau 2 ;
- le système d'armement (système d'armes, systèmes d'information...) appelé niveau 1 ;
- les sous-systèmes d'un système d'armement.

Les principales techniques de simulation

Les techniques de simulation les plus courantes en fonction des ces critères sont les suivantes :

- **La simulation numérique** : simulation ne mettant en œuvre que du logiciel (modèle jouant des événements suivant des conditions d'entrées). C'est l'ensemble des modèles stratégiques permettant d'évaluer le comportement de dispositifs de force dans un scénario donné. Ce type de simulation fait appel à des opérateurs qui manipulent des "pions" tactiques plus ou moins élaborés. Dans certains cas il peut y avoir interaction de l'homme : c'est toute la catégorie des "jeux de guerre" sur ordinateur.
- **La simulation hybride** : simulation impliquant du matériel réel ou, pour être plus précis, associant des modèles d'événements et des événements réels couplés à des événements virtuels pour être repris dans la simulation globale. Cette simulation permet par exemple de démultiplier un plastron en limitant la mise en œuvre des ressources réelles.
- **La simulation interactive** : simulation dans laquelle l'homme interagit au travers d'une interface homme-machine de type informatique. Cette simulation n'est pas en général représentative des gestes et actions réelles mais permet par le jeu de scénario entièrement simulé, la prise de décision.
- **La simulation pilotée** : simulation dans laquelle l'homme joue son propre rôle face à un environnement simulé. Il s'agit des simulateurs classiques qui permettent de se familiariser avec les commandes du système représenté.
- **La simulation instrumentée** : simulation dans laquelle des personnels réels utilisent des matériels réels mais dont les effets sont simulés et mesurés pour analyse. Ainsi les véhicules, les systèmes d'armes et les personnels sont équipés de systèmes permettant l'enregistrement et le suivi en temps réel de la situation tout en réalisant l'arbitrage des situations de duels.
- **La simulation temps réel** : caractéristique de certaines simulations pour lesquelles l'écoulement du temps simulé est égal à celui du temps vrai.

Il est à noter que certaines de ces techniques se recouvrent ; ainsi la simulation hybride, la simulation pilotée, la simulation instrumentée sont des simulations temps réels. La simulation numérique peut être interactive, la simulation pilotée et la simulation instrumentée dans de nombreux cas sont interactives...

Par ailleurs, ces définitions sont issues de la montée en puissance des différentes possibilités technologiques ; il est probable que de nouvelles définitions apparaissent.

Par la suite, le document fait référence à une autre classification issue de standard Otan. C'est certainement dans cette voie que la structuration des besoins militaires devra s'orienter, car il paraît peu probable de pouvoir influencer l'ensemble des définitions qui couvre aussi toutes les applications civiles.

Le champ d'utilisation de la simulation est donc particulièrement vaste. Chacune des techniques présentées ne répondent pas à toutes les applications. À titre d'illustration, le tableau suivant résume la déclinaison de solutions mises en œuvre par l'armée de l'Air. Cette répartition dépend bien évidemment des applications recherchées mais aussi de la nature des systèmes d'armes et de leur complexité : niveau de maîtrise de pilotage, utilisation individuelle ou collective...

Dans le tableau ; les définitions en gras sont les plus utilisées, celles en italiques représentent des utilisations spécifiques.

Schéma directeur de la simulation dans l'armée de l'Air				
	Aide à la décision opérationnelle	Études opérationnelles	Formation (instruction / entraînement)	Études techniques, ETO (et PTO), évaluation des systèmes
Système de défense (stratégique)	- numérique - interactive (jeu de guerre)	- numérique - interactive (jeu de guerre)	- interactive (jeu de guerre)	- numérique - interactive
Système de forces (opératif)	- numérique - interactive (jeu de guerre)	- numérique - interactive (jeu de guerre)	- interactive (jeu de guerre)	- numérique - interactive
Système de combat (tactique)	- numérique - interactive (jeu de guerre)	- numérique - interactive (jeu de guerre) - pilotée	- interactive (jeu de guerre) pilotée - instrumentée	- numérique - interactive - <i>pilotée</i>
Système d'armement	- numérique - <i>interactive</i>	- numérique - <i>interactive</i> - pilotée	- <i>numérique</i> - pilotée - instrumentée	- numérique - <i>interactive</i> - pilotée
Sous-système			- pilotée	- numérique - hybride

L'architecture de la simulation

Pour mettre en œuvre la simulation, on peut distinguer différents niveaux d'outils :

- **Computeur Based Training (PC)** : il s'agit de l'utilisation d'un ordinateur courant sans interface ou système de commandement particulier, essentiellement dédié à l'apprentissage des connaissances de base et des gestes élémentaires (par exemple : formation au respect des étapes de montage/démontage d'un organe mécanique). Ce niveau permet l'autoformation au niveau opérateur et dispose d'une grande souplesse d'emploi. C'est un niveau qui devrait croître en utilisation avec la montée en puissance des *serious games* (détaillé ci-après).
- **Les simulateurs** : équipements spécifiques nécessitant une forte représentativité du système simulé et des interfaces de remontée d'information notamment données graphiques, ambiance, (par exemple : cockpit d'avion, PC de commandement...). Il s'agit en règle générale de moyens dédiés principalement à la formation et l'entraînement venant se substituer à une utilisation des systèmes réels afin d'en acquérir la maîtrise.
- **Le centre d'entraînement** : dispositif plus complexe répondant plus à la formation et l'entraînement d'entité ou permettant l'interaction de plusieurs systèmes d'armes de même catégorie ou en interarmées. Il s'agit de plates-formes de simulateurs souvent moins réalistes que le simulateur de niveau précédent mais couplés et interagissant (par exemple les centres de formations Rafale de St-Dizier et Landivisiau). Par extension ce niveau intègre aussi les outils de simulation instrumentée, car même si les exercices se déroulent dans un cadre réel, l'ensemble de l'instrumentation nécessite une gestion des capteurs, une acquisition des données, un pilotage des effets mettant en œuvre un dispositif informatique complexe (par exemple le Centre d'entraînement de l'armée de Terre).



Centac Mailly



Simulateur Rafale

Cette décomposition est toutefois basique et ne préfigure pas de toutes les possibilités de couplage entre les moyens réels et les outils de simulation. Ainsi il existe un type de simulation particulier qu'il est difficile d'intégrer dans les niveaux précédents : la simulation embarquée *Embedded Training*, principe de formation par simulation dont le simulateur est intégré dans le système d'arme réel. Cette technique permet de réduire certaines limitations comme le montrera l'analyse sur l'aspect humain.

Il y a souvent ambiguïté dans l'utilisation du terme simulation qui représente à la fois la technique et l'outil. Pourtant la précision est déterminante dans les choix qui peuvent être faits dans une politique de simulation. Les moyens à mettre en œuvre sont de coût d'investissement et d'utilisation très différents. L'objectif recherché permettra de statuer sur les outils les mieux adaptés : par exemple s'il s'agit de "découvrir" le fonctionnement d'un équipement un simulateur simple (c'est-à-dire avec une interface de pilotage réaliste mais sans représentation de son comportement) est tout à fait adapté, s'il s'agit d'entraîner une équipe sur les modes opératoires de base, quelques ordinateurs en réseau suffisent amplement.

Il est donc fondamental de bien définir l'objectif recherché en terme de formation ou d'entraînement avant de parler de techniques de simulation et d'outils. Plus la segmentation des objectifs sera claire, plus il sera possible d'apporter une réponse par un moyen spécifique adapté et partant, maîtrisé en terme de coût.

◀ **Recommandation n° 1**

L'utilisation de la simulation pour un programme de formation ou d'entraînement des forces doit faire l'objet d'une analyse fonctionnelle et de la valeur en définissant très clairement les objectifs assignés à chaque outil (fondée sur une implication des opérationnels en retour d'expérience).

Suivant le niveau visé et la complexité des systèmes d'armes concernées, les outils seront variés et complémentaires ; il n'est pas souhaitable de rechercher un outil ayant un trop large champ d'action, car il ne pourra pas présenter toutes les performances requises sous peine de devenir un outil très cher et pas forcément facile d'utilisation.

Cette analyse doit s'inscrire aussi dans une architecture globale permettant toutes les interfaces (intersystème, interarmées, interalliées).

La simulation : premières perceptions

Une réponse à un besoin clairement identifié

La complexité du combat interarmées moderne, la diversité des missions à exécuter dans des dispositifs toujours différents et la variété des lieux sont autant de conditions nouvelles. Comme il est peu envisageable de mener des exercices réels sur tous les théâtres extérieurs pour en appréhender les caractéristiques et tester tous les paramètres opérationnels pour en optimiser l'efficacité, le recours à la simulation est incontournable pour parcourir un spectre de scénario le plus vaste possible. La représentation de ces scénarios au travers de systèmes de combat ou de commandement numérisés impose une évolution des procédés d'entraînement et de préparation des forces faisant appel aux technologies les plus avancées.

La simulation permet aussi, dans un contexte budgétaire de plus en plus contraint, d'optimiser les coûts en adaptant voire réduisant l'utilisation des matériels réels et d'accroître le réalisme de l'entraînement d'une force qui, étant professionnalisée, doit se montrer immédiatement efficace sur le terrain.

L'intérêt de la simulation pour l'entraînement et la préparation des forces

La simulation présente en premier lieu un intérêt qualitatif. Elle permet de jouer des scénarios complexes, difficilement réalisables en réalité de par l'ampleur des moyens à mettre en œuvre et de par la multiplicité des acteurs impliqués. L'indépendance de son utilisation vis-à-vis de contraintes extérieures (disponibilité des matériels, météo, environnement...) et la possibilité de ne "jouer" que les phases importantes ou à travailler en éliminant toutes les opérations préparatoires (approche, transit, attente...) permettent de gagner du temps sur les cycles de formation et de parfaire l'application des doctrines en vigueur.

Enfin elle permet d'explorer des situations dangereuses (cas de panne) qu'il serait trop risqué de tester en réel.

La simulation est également d'un grand intérêt pédagogique, car elle offre des possibilités de maîtrise globale des conditions d'emploi, autorisant une répétitivité parfaite des scénarios utilisés, quelle que soit leur complexité. Elle

permet d'enregistrer et de rejouer les réponses de l'opérationnel pour améliorer ses performances et contribue à la standardisation de la formation des équipages.

La simulation permet en outre de répondre aux contraintes fortes d'économies de temps de paix, le coût de l'utilisation d'un simulateur restant généralement inférieur à celui d'un système d'arme réel. Elle permet aussi d'économiser du potentiel pour les systèmes d'armes et contribue à la satisfaction des nouvelles exigences liées au développement durable.

Outils adaptatifs, aptes à représenter la diversité des scénarios et disposant d'un bon niveau de réalisme, les techniques de simulation sont appelées à prendre une part croissante dans la panoplie des procédés d'instruction, d'entraînement et d'évaluation des individus comme des unités et des états-majors.

Les difficultés communes du recours à la simulation

Le recours à la simulation se heurte néanmoins à des difficultés conceptuelles et structurelles relativement semblables pour les trois armées :

- pour l'entraînement, la simulation ne peut pas éviter l'emploi réel des matériels car on ne peut pas tout simuler ni reproduire toutes les contraintes ergonomiques, psychologiques, physiologiques ou environnementales (stress, fatigue) ;
- il est difficile d'avoir un simulateur dont la définition est strictement représentative du système d'armes et de ses évolutions tant d'un point de vue technique que calendaire ;
- en raison des cycles liés aux technologies employées, le soutien peut s'avérer problématique notamment pour le traitement des obsolescences ;
- le simulateur, comme le soutien en général, constitue souvent la variable d'ajustement budgétaire en cas de restrictions financières ;
- la nécessaire interopérabilité des outils de simulation avec les Systèmes d'information opérationnels et de commandement (Sioc) des armées constitue une véritable difficulté ;
- il est difficile d'avoir des concepts de formation identiques pour les programmes en coopération, ce qui conduit à privilégier des moyens nationaux ;
- il existe des déclinaisons de réglementations nécessitant la démonstration sur matériels réels des aptitudes de mise en œuvre (nombre de vol pour les pilotes) ou de certification des équipements utilisés ;

- les performances limitées des modèles de comportement et d'environnement utilisés nuisent à la représentativité et donc à l'acceptation de la simulation.

L'utilisation de la simulation n'est pas sujette à contestation. L'intérêt pédagogique, tant dans l'optimisation de la formation et du maintien des compétences que dans les impacts directs sur l'utilisation des matériels réels est reconnu de tous : « une affligeante banalité » (Cémat).

Mais la simulation est aujourd'hui encore considérée par les opérationnels comme un outil complémentaire des exercices qui doivent être maintenus (en volume) sur les matériels réels. Les limitations de représentativité, le positionnement souvent tardif de la simulation dans les programmes n'en permettent pas une utilisation optimale.

Recommandation n° 2

Renforcer l'évolution de la perception de la simulation par un programme de sensibilisation visant les opérationnels et les décideurs et mettant en avant les points suivants :

- la simulation peut être un outil très performant si l'on définit clairement ses objectifs ;
- l'ensemble des techniques disponibles à venir et les modes de mise en œuvre sauront apporter les réponses à la plupart des difficultés aujourd'hui rencontrées ;
- l'augmentation de la part de la simulation dans les programmes de formation doit faire l'objet d'une mesure effective de performance qui en démontrera la pertinence.

La simulation : une réalité

Au cours de ces dernières décennies, la simulation a pris une importance accrue jusqu'à devenir un outil privilégié des armées. Si elle constituait auparavant un complément utile à l'usage en sécurité des systèmes d'armes et des munitions, son intérêt s'est progressivement élargi. Elle fait désormais partie intégrante de la formation et de l'entraînement des forces avec l'objectif de contribuer à la réduction du coût global de possession.

Les stratégies d'emploi des armées

Les armées ont chacune défini des stratégies d'emploi dans ce domaine.

L'État-major des armées a officialisé un schéma directeur de la simulation interarmées dont les priorités sont :

- de donner à la France une capacité propre d'anticipation, de conception, de planification et de conduite, dans les domaines capacitaires et d'emploi des forces ;
- de doter les armées d'un système d'entraînement d'état-major au niveau opératif, interopérable avec les alliés ;
- de contribuer à la cohérence de l'ensemble des systèmes de simulation utilisés par les armées et les organismes.

L'armée de Terre a également rédigé un schéma directeur de la simulation 2006-2015 dont les objectifs sont :

- d'améliorer les capacités opérationnelles globales des forces terrestres par un recours accru à la simulation ;
- de représenter plus finement et de faire mieux percevoir la complexité du combat terrestre ;
- d'assurer un meilleur suivi des coûts, évaluer et améliorer la rentabilité des investissements.

Dans ce cadre, l'Aviation légère de l'armée de Terre (Alat) expérimente le renforcement de l'emploi de la simulation pour la formation et l'entraînement des équipages du Tigre en remplaçant un nombre important d'heures de vol par de la simulation. Pour elle, la différenciation des outils pour la formation et l'entraînement s'estompe.

La Marine a réalisé un document de politique générale qui définit les grandes lignes de ses choix en la matière. En son sein, le recours à la simulation s'est accentué au fur et à mesure que se développait la complexité des systèmes d'armes et que s'accroissaient les coûts de mise en œuvre des moyens réels (unités à entraîner et unités plastrons). La faible disponibilité des bâtiments pour l'entraînement, compte tenu de l'augmentation du temps passé en mission opérationnelle et de la diminution du nombre d'unités ont également contribué progressivement à une plus grande prise en compte de la simulation.

Par ailleurs, dans les forces sous-marines, le fait d'avoir deux équipages par

sous-marin rend essentiel le recours à la simulation pour entraîner l'équipage resté à terre, et lui permettre d'être très rapidement apte à remplir ses missions opérationnelles. Ce principe sera également appliqué sur les frégates multimissions (Fremm), ce qui permet d'optimiser la rentabilité des moyens en privilégiant les missions opérationnelles.

L'armée de l'Air a élaboré un concept d'emploi de la simulation pilotée. Il s'agit de l'adapter au juste besoin de formation et de préparation opérationnelle des équipages afin de compléter et valoriser l'activité aérienne, en répondant au besoin tactique et en permettant de réaliser des missions complexes, de s'adapter à la réglementation internationale et de promouvoir une convivialité d'utilisation des outils.

L'armée de l'Air a entamé une démarche d'augmentation de l'utilisation de la simulation pour compenser la complexification et la polyvalence des systèmes sans augmentation des heures de vol.

Recommandation n° 3

Fort de cette approche stratégique de la simulation dans les trois armées, renforcer une harmonisation des pratiques et favoriser les échanges tant dans les développements de moyens ou les techniques de mise en œuvre que sur les retours d'expérience en définissant par exemple un collège de la simulation associant l'EMA, la DGA et les trois armées.

Un des objectifs de ce collège pourrait être d'analyser les difficultés rencontrées (cf. § LES DIFFICULTÉS COMMUNES DU RECOURS À LA SIMULATION), p.13 afin de définir les plans d'actions cohérents pour les réduire et promouvoir une utilisation optimisée de la simulation.

La simulation d'entraînement à l'étranger

Les pays les plus avancés en matière d'outils de simulation d'entraînement sont par ordre d'importance: les États-Unis, la France, le Royaume Uni, l'Allemagne, le Canada, l'Australie, le Brésil, l'Italie, le Japon, la Corée, Singapour... Il faut cependant reconnaître que les États-Unis sont très largement en tête. À titre d'exemple, le *Military Simulation & Training Magazine* rapporte les statistiques 2008 sur les simulateurs de vol. Le nombre de simulateurs de vol en application dans

chaque pays ainsi que sa part de représentation sont indiqués pour chaque pays :

- . États-Unis : 750 (72 %)
- . France : 70 (7 %)
- . Royaume-Uni : 60 (6 %)
- . Allemagne : 60 (6 %)
- . Canada : 20 (2 %)
- . Australie : 20 (2 %)
- . Autres : 50 (5 %)

L'approche américaine est globalisante : quelle que soit leur nature, les simulateurs doivent pouvoir être interconnectés et chaque étape de développement spécifique doit pouvoir être réutilisé comme une brique élémentaire lors d'une nouvelle application. L'instrument de cette ambition est une architecture de haut niveau (HLA)⁽¹⁾. Les modèles des différents types (environnements, système d'armes, conduite des tâches militaires) doivent être déposés dans des bibliothèques et accessibles par les réseaux.

Le Royaume-Uni semble privilégier une approche d'externalisation de service d'entraînement et laisser à l'industrie le soin de définir des prestations globales de service plutôt que de fournir des simulations ou des simulateurs.

Singapour a adopté l'approche Otan pour ses outils de simulation. Un centre d'entraînement numérisé est mis en œuvre avec systèmes de tir et représentation du combat urbain adapté au contexte de cette cité État.

Au niveau international, l'Otan est très présente par sa volonté d'organisation, de mise en cohérence et d'interopérabilité des outils de simulation. L'Otan a mis en place le Nato Modeling & Simulation Group (NMSG), organisation à vocation politique chargée d'organiser et de fédérer les travaux de simulation. Ce groupe a atteint sa vitesse de croisière en 2003 et assure en particulier la responsabilité des standards, une activité qui représente 30 % de son activité. 2007 a été la première année durant laquelle des démonstrations du NMSG ont donné naissance à des programmes de simulation tels que Snow Leopard, un projet qui fournit aux

(1) Voir § "Quels progrès technologiques pour la simulation ?", p.25.

partenaires de l'Otan toutes les options pour choisir le niveau d'entraînement souhaité (stratégique, opératif ou tactique), le type de scénario, la configuration du théâtre et tout cela avec une interactivité améliorée.

Une seconde organisation européenne, l'European Training and Simulation Association (ETSA), propose un environnement aux fournisseurs et utilisateurs d'outils de simulation pour échanger des informations ou des stratégies sur les méthodes et stratégies de simulation. Y sont représentées des organisations étatiques ou privées qui souhaitent progresser dans l'efficacité et l'interopérabilité de leurs développements. ETSA est membre de l'International Training and Simulation Alliance aux côtés des États-Unis, de l'Australie et de la république de Corée.

L'essor de la simulation pour l'entraînement est donc un phénomène général constaté dans de nombreux pays, avec bien sûr, la prédominance des États-Unis. Les besoins d'outils adaptables, interopérables et permettant les échanges de données sont communs à tous. Les pays débutant dans la démarche bénéficient d'une approche plus cohérente que ceux ayant déjà des systèmes mis en place avant que l'interfaçage soit devenu un impératif.

La classification Otan des techniques de simulation

La classification Otan, couramment reprise par les armées françaises, présente trois catégories :

- **La simulation virtuelle**, *virtual simulation*, simulation impliquant des personnes réelles qui opèrent des systèmes simulés, qui exige un fort niveau de réalisme dans les descriptifs et imageries et dans l'interface homme-machine représentée. Le joueur est immergé derrière des écrans représentant le monde en 3 dimensions. Il s'agit essentiellement de la simulation des systèmes d'armes, à dominante technique, qui permet l'acquisition des savoir-faire nécessaires à leur mise en œuvre. Conçue et réalisée dans le cadre des programmes d'armement, elle est indispensable à la formation du combattant (équipages, tireurs pilotes...).

- **La simulation constructive**, *constructive simulation*, simulation impliquant des personnes simulées qui opèrent des systèmes simulés. Au préalable, des personnes réelles ont défini et introduit dans la simulation les données initiales (les moyens, l'environnement, l'adversaire). Il s'agit de système en réseau se substituant aux échelons subordonnés ou supérieurs du joueur. Relevant du domaine du chef et des états-majors, elle vise à faciliter l'apprentissage de l'emploi des systèmes d'armes et à l'entraînement au commandement des forces. Il ne s'agit plus seulement de simuler les systèmes d'armes, mais plutôt de recueillir, puis de visualiser de façon synthétique tous les événements provenant du terrain, d'analyser leurs effets et les différentes interactions entre les acteurs et le terrain. Cette simulation peut être rejouée autant de fois que nécessaire en faisant évoluer les scénarios.
- **La simulation vivante**, *live simulation*, simulation impliquant des personnes réelles qui opèrent des systèmes réels instrumentés. Elle apporte une contribution incontestable en matière de préparation opérationnelle des unités de mêlée qui peuvent s'entraîner de façon réaliste, dans un environnement adapté, face à un ennemi "physique" et avec des moyens de simulation reproduisant les effets de certaines armes. Les exercices, qui touchent l'ensemble des fonctions du sous-groupement, combinent tirs et manœuvres à double action et permettent de dévoiler les qualités des chefs de tous grades. Le "re-jeu" et l'analyse a posteriori des choix et des performances individuels constituent également un enseignement important pour l'optimisation des actions d'un acteur ou d'un groupe d'acteurs.

Recommandation n° 4

- a) Devant l'impératif d'interopérabilité et en l'absence de standard spécifique français, les démarches de communalisation de la simulation au niveau européen et Otan, adopter une architecture fondée sur le standard HLA (High Level Architecture) et organiser systématiquement les stratégies de simulation suivant les catégories Otan.
- b) Profiter du retour de la France dans le commandement intégré de l'Otan pour augmenter notre participation et influence dans les groupes de travail internationaux sur la simulation.

La simulation : un outil en constante évolution

Depuis les entraîneurs "Tonneau Antoinette" au début du XX^e siècle en passant par les premières simulations numériques sur ordinateur de la fin des années 1950, la simulation évolue en fonction des innovations techniques et de la progression des besoins, sans identifier clairement qui provoque et entretient ce mouvement. Quoi qu'il en soit, la véritable nouveauté depuis le milieu des années 1990 réside dans l'accélération de ces innovations et dans le fait que la simulation a pris une importance accrue jusqu'à devenir un outil privilégié des armées.



Représentation du simulateur "Tonneau Antoinette" conçu par la société de Léon Levavasseur à partir de 1910 sur les conseils des commandants Clolus et Laffont et du lieutenant Clavenad. Ce poste de pilotage, monté sur rotule et actionné manuellement, permettait aux apprentis pilotes de répéter les manœuvres de base sur des commandes fictives tout en subissant des effets simulés tels que lacet, roulis et tangage.

L'adaptation à l'environnement politico-militaire

Au plan macroscopique, le cadre général des conflits est différent. L'environnement politico-militaire est désormais présent très tôt dans la chaîne de commandement, ce qui se traduit par l'importance accrue de fonctions opérationnelles d'environnement, actions civilo-militaires et communication opérationnelle entre autres. Cet aspect,

particulièrement dimensionnant pour la conduite des opérations, ne peut être exclu des outils de simulation d'entraînement. De la même façon, les modes d'action des adversaires potentiels dans un conflit asymétrique peuvent être sans commune mesure avec ceux d'un ennemi conventionnel dans le cadre d'un conflit symétrique. Ces modes d'action couvrent un spectre très large que les moyens de simulation doivent prendre en considération.

L'adaptation à la nouvelle conflictualité

Au niveau microscopique, la problématique est également compliquée. Elle tient tout d'abord à l'environnement sur lequel se déroulent les actions, qui se complexifie. Lors des conflits symétriques traditionnellement envisagés, les zones urbaines étaient évitées ou neutralisées. Aujourd'hui, le combattant ne peut s'affranchir de pénétrer dans les villes, les conquérir et les tenir. De même l'affrontement simple et arbitraire de deux mobiles n'est plus suffisant pour apprécier la réussite de la mission. Les effets de toutes les armes et moyens disponibles doivent être simulés.

Contraints par les logiques de programme d'armement, les outils de simulation ont des difficultés à s'adapter au rythme soutenu de l'évolution actuelle de la conflictualité. Toutefois, les progrès réalisés dans le domaine de la modélisation et dans celui de la puissance de calcul des ordinateurs permettent de couvrir le besoin dans sa globalité. Si les temps de réaction nécessaires à l'adaptation des outils en service dans les forces paraissent longs, ils sont conformes à ceux obtenus pour des développements informatiques civils de même ampleur, eu égard aux moyens financiers disponibles. Néanmoins ces temps sont condamnés à se contracter ; les délais de développement des jeux, leur durée de vie se réduisent pour coller au plus près de l'actualité. Ainsi, moins de deux semaines après les annonces de l'épidémie de grippe A H1N1, des jeux de simulations sont proposés sur Internet ! Il en va de même pour les outils nécessaires à la préparation des forces : les nouvelles missions doivent être très rapidement définies.

Il apparaît clairement que l'atout de la simulation est d'élargir le champ des exercices d'entraînement. Tout type de mission, de l'action humanitaire à l'action de force en passant par la sécurisation et le rétablissement de la normalité,

dans des théâtres très variés avec des spécificités géographiques, politiques et culturelles, doit être pris en compte.

L'adaptation des outils de simulation aux nouveaux besoins doit être rapide et les modèles validés, car ils représenteront vraisemblablement la seule expérience pour les opérationnels devant intervenir sur un nouveau théâtre. Toute erreur de modèles pourra induire des mauvaises décisions sur le terrain. Quel que soit le niveau d'utilisation de la simulation, mais encore plus pour les niveaux élevés, la bonne représentation de la situation d'intervention revêt un caractère de performance pour la formation (les pilotes sur simulateur Rafale s'entraînent pour des missions en théâtres extérieurs sur des modèles de paysages français, car les modèles spécifiques ne sont pas disponibles).

Recommandation n° 5

Faire évoluer l'ensemble des outils de simulation pour permettre ces adaptations aux conditions d'intervention.

Organiser une logique de validation des modèles impliquant des opérationnels et des experts du lieu considéré et de tous les aspects humains (comportement, culture...).

APPROCHE TECHNOLOGIQUE : SIMULATION ET NOUVELLES TECHNOLOGIES

Simulation et nouvelles technologies sont souvent associées. La puissance de calcul des ordinateurs constitue en effet un moteur très efficace pour la résolution de problèmes dans lesquels la représentation d'un modèle élémentaire est répétée un grand nombre de fois pour constituer le modèle complet. Néanmoins, prendre sans critique un résultat numérique pour le reflet de la réalité conduit à des erreurs grossières. Le modèle de comportement élémentaire peut ne pas être représentatif. Les conditions ou limites peuvent être contraignantes ou imparfaites. L'environnement modélisé peut être insuffisant en raison d'une puissance de traitement trop faible.

Deux voies d'amélioration existent. Elles s'articulent entre progrès des moyens de calcul (processeurs, bases de données, volumes de stockage, bandes passantes et rapidité des réseaux...) et progrès des modèles numériques. Ce paragraphe analyse les développements en cours et les tendances du marché au service de la

simulation d'entraînement. Il montre que les besoins de simulation croissent avec la progression des moyens de calcul et que des voies nouvelles (jeux vidéo, *serious games*) offrent de réelles opportunités pour faire face aux besoins militaires.

Modèle, simulation numérique et informatique

L'emploi des outils de simulation n'a pas attendu les années cinquante et l'apparition des calculateurs pour démontrer son bien-fondé. Que l'on parle de schémas de bataille dessinés sur un plan, de *krieg-spiels* où l'on pousse sur une table ses cubes représentant des garnisons, ou même d'entraînement direct sur le terrain, tout est simulation et tout cela existe depuis des siècles.

Aujourd'hui, la simulation moderne d'un phénomène complexe est réalisée par le cumul de simulations de comportements élémentaires. Pour cette raison, la simulation numérique est liée aux nouvelles technologies de l'information, c'est-à-dire à l'informatique. La mise à disposition d'outils de calcul performants permet en particulier l'exploitation de modèles de plus en plus réalistes grâce à une puissance de traitement importante.





Exemples de modèles 3D disponibles et réutilisables dans un environnement de simulation (Bdesign 2008, all rights reserved).



Exemples de modèles 3D disponibles et réutilisables dans un environnement de vol grand public (Image XP-Simulation).

Ces modèles, aussi réalistes soient-ils, peuvent ne pas correspondre à l'objectif de formation choisie : s'ils sont adaptés à une bonne représentation visuelle d'un lieu, ils ne permettent pas forcément le réalisme de l'interaction (modèle d'un effet d'armement sur un bâtiment par exemple). Deux écueils sont possibles, une représentation non cohérente et donc au bout du compte non réaliste, ou des performances numériques telles que les puissances de calcul deviennent une forte contrainte.

Par ailleurs d'autres difficultés subsistent parmi lesquelles la modélisation de caractères humains, de comportements individuels ou de groupe, la génération de climats de stress, de fatigue ou de peur, la représentation d'un adversaire imprévisible.

Ainsi, lorsque l'on fait intervenir des acteurs humains comme éléments du modèle, celui-ci n'obéit pas encore, en l'état actuel des sciences de l'homme, à des lois parfaitement déterminées. La simulation a donc des difficultés à représenter les

comportements psychosociaux du type jeu de rôle ou certaines formes de jeux d'entreprise *business games*.

Enfin il faut aussi tenir compte de la génération d'évènement aléatoire comme la météo par exemple.

Cependant, l'objectif d'un simulateur peut ne pas être de représenter fidèlement un environnement ou le pilotage d'un engin, mais de susciter chez les personnels entraînés un ensemble de démarches intellectuelles qui les feront progresser dans la réalisation de leurs missions.

Quels progrès technologiques pour la simulation ?

Des voies de progrès existent :

- **L'amélioration des matériels informatiques, en particulier des processeurs :** si cette voie ne présente pas un intérêt déterminant pour notre travail, elle est révélatrice de la rapidité des progrès technologiques. La course à la puissance n'a pas encore atteint ses limites : selon un article de quatre chercheurs d'Intel publié dans les annales de l'IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) de novembre 2003, la loi de Moore⁽²⁾ devrait être vérifiée jusqu'en 2020. À cette date, il ne sera plus possible de réduire la taille des transistors pour rendre les processeurs plus petits, plus puissants et moins coûteux. Des travaux sur des technologies de rupture sont en cours. Les voies de perfectionnement proposent des processeurs de nature optique, biologique, ou quantique. D'autres, à plus courte échéance, travaillent sur des processeurs tridimensionnels qui constituent schématiquement des empilements de processeurs tels que nous les utilisons aujourd'hui.

Les processeurs actuels sont de types scalaire ou vectoriel. Les processeurs scalaires exécutent des opérations élémentaires, comme l'addition de deux nombres. Les processeurs vectoriels effectuent des opérations d'ensembles de nombres.

Depuis les années 1990, le calcul parallèle se banalise et le processeur vectoriel recule devant le microprocesseur. De nouvelles solutions mixtes apparaissent réunissant, via un réseau d'interconnexions par messages, des

⁽²⁾ Gordon Moore, cofondateur de la société Intel a affirmé en 1965 que « le nombre de transistors par circuit de même taille double tous les 18 mois ».

nœuds constitués de plusieurs processeurs couplés par mémoire partagée (*grid computing, clustering...*).

Le principe est le suivant :

- plusieurs ordinateurs alimentent un réseau en puissance de calcul (analogie avec le réseau électrique) ;
- les moyens de traitement et de stockage des données sont mis en commun.

Sans poursuivre plus avant cette analyse technologique, il est très probable que les performances futures des processeurs sauront répondre aux exigences des modèles et des logiciels de simulation pour autant que l'on puisse conserver toute garantie d'accès aux nouvelles technologies informatiques.

Chaque progrès ou saut technologique sera immédiatement pris à profit pour l'amélioration des modèles. À l'instar des ordinateurs pour particuliers nous pouvons émettre l'hypothèse que l'évolution des coûts ne sera pas significative : pour le même prix les outils sauront répondre aux nouveaux besoins de réalisme et de précision.

Les matériels ne devraient pas être un obstacle à l'évolution de la simulation.

- **L'amélioration des logiciels en particulier des modèles utilisés par la simulation** : une fois les aspects matériels définis, la performance d'un outil numérique de simulation se mesure par les capacités de ses logiciels.

Le principal axe de travail est la pertinence des outils et algorithmes d'intelligence artificielle : l'intelligence artificielle cherche à fournir à l'outil informatique les moyens de raisonner de façon similaire au cerveau humain. Cet objectif ne sera réellement atteint qu'à long terme et pourrait être remis en cause en fonction des progrès faits sur la connaissance du fonctionnement du cerveau. Dans l'attente, il est nécessaire de poser des hypothèses de comportement simples (modèles) qui, ajoutées les unes aux autres et accélérées par les outils de calcul, permettent une représentation approchée de la réalité.

Prenons l'exemple de la simulation du comportement de foules (problématique concernant bien les forces notamment pour les actions en théâtres extérieurs) : parmi les simulations qui requièrent des outils d'intelligence artificielle sophistiqués, celles liées au comportement humain figure parmi les plus complexes à reproduire. Dès lors, chacun comprend que la simulation du

comportement de foules pose non seulement la question de la "granularité" du traitement que celle de la finesse du modèle à reproduire. Ce paragraphe illustre la réflexion menée pour concevoir un outil de simulation de foule.

Plusieurs types de foules sont identifiés :

- la foule élémentaire : cet ensemble représente une collection d'entités avec un comportement basique commun ;
- la foule primaire : ce type de foule est constitué comme une foule élémentaire mais avec de multiples comportements primaires ;
- la foule complexe : foule primaire avec de multiples comportements complexes (par exemple, une population civile en ville) ;
- la foule intelligente : il s'agit ici d'une foule complexe contenant des entités à comportement intelligent (par exemple, une population hostile en guérilla urbaine).

Face à ces différents types de foules, plusieurs approches sont proposées :

- une approche macroscopique régit par des équations dynamiques de calcul global de la foule. Ses avantages sont une consommation faible de temps machine. Son principal défaut réside dans une représentativité toute relative du comportement réel d'une foule même élémentaire ;
- une approche microscopique où chaque composante de la foule est modélisée avec un comportement individuel mais des contraintes vis-à-vis de ses voisins. Par exemple, le déplacement de la foule se réalise en mode *flocking*, c'est-à-dire que la vitesse de chaque individu est calculée selon celle de ses voisins.

Malheureusement, même l'approche microscopique ne permet pas de reproduire convenablement tous les comportements de foule. On considère que seules les foules élémentaires ou primaires conviennent à ce type de modélisation.

En conclusion de cet exemple, la modélisation réaliste d'une foule intelligente nécessite la représentation d'individus autonomes dans leur comportement. L'addition de ces individualités constitue la foule, détermine son comportement général qui évolue en fonction du nombre d'individus et des conditions extérieures. Ce type de modélisation n'est pas encore opérationnel, car il demande une puissance de calcul importante si la foule est importante. Il constitue sans conteste le seul modèle représentatif du problème posé.

Recommandation n° 6

Élargir la couverture de compétences des équipes de réalisation des simulateurs : graphistes, scénaristes, effets spéciaux, psychologues, linguistes en s'inspirant des techniques de réalisation des jeux vidéo.

- **La modélisation des comportements humains** : il importe pour le combattant individuel de pouvoir représenter les réactions réelles : la perception et la conscience des situations, la réalisation de tâches multiples, la mémoire et l'apprentissage, les traits de caractères personnels ; la prise de décision, les référents culturels et certains facteurs modulant les performances comme la charge de travail ou le stress. Notons également que, plus que le comportement du "joueur", c'est le comportement imprévisible, non répétitif voire illogique de l'adversaire qui est souvent le plus difficile à représenter.

Au niveau de l'unité, il faut également pourvoir représenter la structure de commandement et l'ensemble des interfaces avec les membres qui fixeront les effets d'ensemble.

La représentation gagnera en réalisme avec la prise en compte du niveau de compétences des personnages, de détail des procédures opérationnelles, leur cohérence, le degré de leur suivi.

Des progrès sont attendus dans ce domaine par le secteur civil, car les développeurs ont bien ressentis cette nécessité auprès des utilisateurs. En effet les nouvelles générations de joueurs recherchent plus de réalisme quitte à perdre un peu de caractère ludique. Les applications militaires devraient donc en bénéficier.

Recommandation n° 7

Améliorer la modélisation du comportement humain aux fins de simulations militaires, selon les orientations suivantes :

- À court terme, faire porter l'effort sur l'acquisition de données (retex militaire, experts sociologues et psychologues, études comportementales aux jeux...) allant de la manière dont les forces se comportent, se coordonnent et communiquent sur le terrain, à l'étude des capacités humaines fondamentales. Pour cela, établir un lien direct entre les experts des questions militaires (opérations, comportements guerriers, unités, systèmes, environnement) et les experts de la simulation (développeurs et usagers). Les données devraient être codifiées et faire l'objet d'une démarche d'accréditation et être disséminées vers toutes les communautés

intéressées. Les modèles développés devraient être interopérables pour s'inscrire dans les architectures retenues.

- À long terme, maintenir un effort soutenu sur le développement de la théorie et sur la recherche en matière de représentation de conscience de situation, de prise de décision, d'apprentissage et de fonctionnement des organisations dans le but de ne plus avoir à intervenir de façon segmentée sur l'implémentation des scénarii.

- **L'amélioration des fonctions de visualisation et d'échange avec les utilisateurs** : dans les échanges entre l'homme et la machine, de gros progrès sont programmés. L'objectif est de s'affranchir progressivement des modes liaisons primaires que sont le clavier, la souris... pour utiliser d'autres capacités en particulier la voix, la vue, l'odorat, le toucher. Ainsi, les écrans tactiles des téléphones portables feront rapidement école au profit des outils professionnels. Les travaux actuels portent sur l'ergonomie cognitive, la psychologie, les statistiques. Ils mettent en œuvre des méthodes permettant d'observer, d'analyser et de comprendre le comportement des utilisateurs d'une technologie interactive dans un environnement réel ou simulé : conception participative, tests d'utilisabilité, études ergonomiques, analyse oculométrique, synthèse de la voix, des accents...

De même, des équipes travaillent sur des procédés de localisation automatique de points caractéristiques anthropométriques et de mesure faciale, initialement dédiés à la biométrie faciale. Ces points permettront aux visages des modèles humains reproduits par la simulation d'exprimer toutes les émotions, les états de fatigue ou d'anxiété que nous interprétons à chaque instant dans notre vie quotidienne.

Il est probable que les résultats de ces travaux seront repris par les systèmes que la simulation tente de reproduire. L'utilisation de la voix pour piloter un système d'arme figurera parmi les premières applications pratiques de ces travaux.

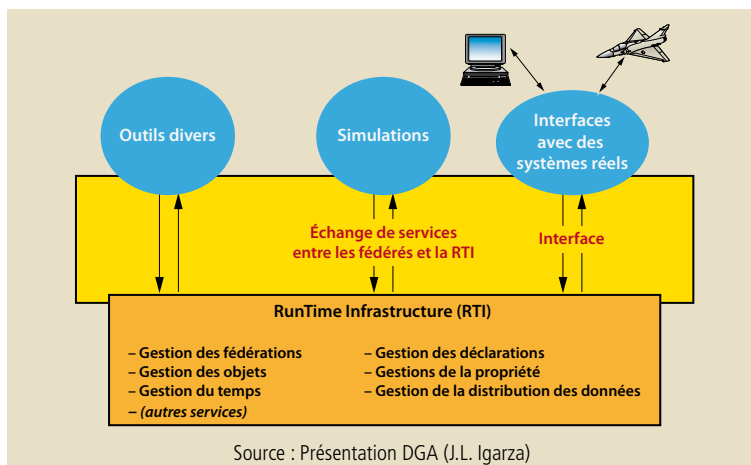
Recommandation n° 8

Réduire le volume et améliorer la modularité des simulateurs afin de faciliter l'emploi sur le théâtre et permettre l'adaptation aux conditions réelles rencontrées.

- **L'amélioration de l'interopérabilité et l'ouverture des outils de simulation :** le constat est clair, de très nombreux simulateurs de tous types sont développés mais leur interopérabilité (dialogue entre systèmes) est pauvre. Des efforts ont pourtant été menés pour organiser les échanges entre simulateurs ainsi qu'entre les simulateurs et leur écosystème (SIO, Sic, Sil...) avec l'objectif d'adapter les moyens de simulation à la tenue de la situation souhaitée. Des modèles de données de références tels que MPIA ou JC3IEDM ou des types de messageries tels que AdatP2, XMLIA ou LDT (L11 ou L16) sont attendus par les opérationnels.

Le standard HLA⁽³⁾ a été proposé par le US-DoD en 1996 afin de remplacer les multiples initiatives de standardisation menées en désordre par les acteurs de la simulation. Ce standard spécifie en particulier les règles de bonnes pratiques dans la conception de simulateurs ainsi que les interfaces d'échange. HLA est ainsi devenu l'un des standards les plus utilisés en termes de simulation.

Parmi ses principaux avantages, le standard HLA offre une grande souplesse au niveau de l'utilisation des ressources mises à la disposition de la fédération des simulateurs connectés entre eux. Cependant, pour tirer le meilleur parti de cette souplesse, il faut être capable de dimensionner l'architecture support de la simulation (en termes de processeurs ou de moyens de communication) en fonction des performances attendues. Pour cela, on aura besoin de définir, d'étalonner et d'utiliser de manière prévisionnelle un modèle de performance.



⁽³⁾ HLA est un standard d'interopérabilité développé par le US-DoD. Les outils de simulation, les interfaces avec les systèmes réels et les outils communs ne dialoguent qu'au travers d'une interface standardisée appelée RTI.

Recommandation n° 9

Développer l'interopérabilité des outils de simulation :

- fixer un véritable standard de modèle numérique de terrain pour constituer une base mondiale des géographies d'entraînement ;
- fixer des conditions de partage d'informations entre simulateurs pour en permettre l'immersion dans une véritable situation tactique représentative sur les plans national, international, Otan.

Simulateurs d'entraînement, jeux vidéo et serious games

Les jeux vidéo, un environnement naturel pour les jeunes en formation : les jeux sont une réalité incontournable pour les jeunes et la pratique est à un stade où ils peuvent servir de moyen de communication et de formation. Cela est surtout vrai dans les pays anglo-saxons mais se développe très rapidement en France. En application militaire par exemple, les jeux de simulation de combat sont utilisés par l'armée américaine pour former et préparer aux opérations extérieures, notamment pour les missions en Irak. Ils sont également un moyen de développer le recrutement de nouveaux volontaires en développant l'image positive du combattant (Cf. America's Army US-DoD).





Source : Marine nationale

En France, la Marine n'est pas en reste avec son nouveau site <http://www.etremarin.fr>. Ce site propose des simulations où différentes missions peuvent être "vécues" de façon ludique, dans la peau d'un mécanicien naval, d'un chef de quart ou d'un pilote d'hélicoptère.

Ce site "expérientiel" est proposé dans le cadre de la campagne de recrutement de la Marine française lancée en Mars 2009. Il est calqué sur d'authentiques matériels, technologies et procédures validés par des marins. Au menu : déminage des fonds marins, sauvetage en mer, combat au canon... En coulisses, des marins dialoguent avec les internautes et répondent à leurs questions.

Dans un avenir proche, l'utilisation de jeux informatiques ne peut que se développer pour des applications professionnelles.

Les jeunes sont habitués à une présentation dynamique des données. Un grand nombre d'information peut être traité simultanément par des jeunes qui par ailleurs ne démontrent pas une intelligence supérieure à la normale. Les jeux, notamment ceux en ligne avec multiutilisateurs, permettent de capter le comportement du joueur. Ils développent la volonté "d'en savoir plus" et de se battre pour gagner l'objectif fixé. Les développeurs de jeux sont d'ailleurs à la recherche d'experts en sociologie et en étude du comportement pour exploiter les données recueillies par la pratique des jeux de plateau en ligne où se dessinent des types de joueurs et

le positionnement réciproque. Le jeu apparaît dès lors très vite comme un moyen d'évaluation.

Simulateurs d'entraînement et jeux vidéo : la démarche de construire un simulateur à partir d'un jeu vidéo existant est tentante. *Flight Simulator* (Microsoft) pour la simulation de pilotage aérien, *Armed Assault* (Bohemia Interactive) pour les missions de combat urbain, *Silent Hunter* (Ubisoft) pour la simulation de sous-marins... sont autant de jeux vidéo dont le réalisme des images, la fluidité des actions et l'envie de jouer sont notables.



Image extraite de *Silent Hunter* (Ubisoft)



Image extraite de *Armed Assault* (Bohemia Interactive)

Mais simulateur d'entraînement et jeux vidéo ne fonctionnent pas avec les mêmes contraintes :

- dans un jeu, l'accent est mis sur le *game play* (la façon de jouer) et l'important est le côté ludique et non la représentativité de l'action. Par ailleurs, l'action se déroule plus rapidement qu'en réalité. Le *game play* repose sur les fondamentaux du cinéma (une phase d'actions toutes les sept minutes) et il est nécessaire d'éviter les phases monotones comme peuvent en proposer par exemple certains simulateurs de vol lors de phases de transition ;
- pour les outils de simulation, l'accent est mis sur la représentativité des modèles et non sur l'aspect ludique. La situation se déroule à l'échelle de temps 1 et non en accéléré. Les périodes d'attente où il ne se passe rien sont prises en compte et peuvent agir sur la capacité de réaction des acteurs ;

- dans un jeu, le joueur est aidé afin de toucher sa cible plus facilement qu'un fantassin sur le terrain ou qu'un pilote dans son avion. L'important est clairement mis sur le plaisir du joueur plutôt que sur la conformité aux armes réelles ;
- enfin, la doctrine d'emploi des forces n'est pas respectée dans un jeu. Les méthodes de progression ou de protection ne correspondent pas aux fondamentaux enseignés aux militaires de terrain.

Comparatif	
Jeux	Outils de simulation
<ul style="list-style-type: none"> . Conçus pour le plaisir . Comportements éphémères . Comportements adaptés pour contribuer au <i>game play</i> . Scénario propice au jeu . Destruction possible sans raison particulière . Pas d'exigence de déterminisme/re-jeu . Scripts écrits par des programmeurs . Plusieurs scènes avec des comportements "uniques" 	<ul style="list-style-type: none"> . Exigence de réalisme . Peut durer plusieurs heures . Comportements individuels totalement autonomes . L'inattendu doit arriver comme dans la vie réelle . On détruit pour un objectif . Analyse après action . Exercices conçus par des opérateurs . Des centaines de scénarios, des milliers de comportements

Si l'industrie civile fait la part belle aux jeux de guerre, la récupération directe de ces derniers ne peut servir à la formation et le maintien des connaissances des militaires. Le principe doit toutefois être regardé, car les jeux sont aujourd'hui bien pratiqués des jeunes et peuvent contribuer au cas par cas à des formations de base après quelques adaptations et orientations spécifiquement militaires.

Simulateurs d'entraînement et *serious games* : les *serious games*, ou jeux vidéo sérieux, sont des outils d'un genre nouveau, qui utilisent les atouts des jeux vidéo à des fins de formation, d'entraînement, de thérapie ou d'apprentissage par l'action. Les secteurs concernés sont divers : industrie, milieu médical, enseignement, milieu militaire...

Il s'agit avant tout de faire vivre aux joueurs des expériences enrichissantes, via l'immersion dans un contexte, la reproduction de scénarios opérationnels et

l'apprentissage par l'action. Le jeu sérieux complète l'acquisition de connaissances obtenues par un apprentissage classique par une approche ludique et immersive.

Les jeux sérieux exploitent la motivation des joueurs grâce au principe du *learning by doing*. Ce principe réunit les capacités d'apprentissage obtenues grâce aux théories de l'action plongée dans un contexte réaliste.

Cette démarche a été appliquée à un simulateur développé pour l'Armée de Terre française : l'outil Instinct (instruction de l'infanterie au commandement et à la tactique). Il s'agit d'un simulateur de combat 3D développé à partir du jeu Ghost Recon d'Ubisoft. De nombreuses modifications ont été apportées au jeu initial pour respecter les doctrines d'emploi et permettre au joueur d'être en conformité avec l'enseignement reçu hors du contexte de simulation. Ce simulateur est en cours d'évaluation en France et à l'étranger (Cambodge).

Les jeux sérieux ne sont pas construits à partir d'une "feuille blanche". Les éditeurs utilisent des outils existants (modèles 3D, moteurs d'intelligence artificielle, Commercial Off The Shells Cots) qui, mis ensemble, constituent le simulateur. Cette démarche est la démarche d'avenir des simulateurs qui prendront les meilleurs Cots disponibles au moment voulu. Si l'architecture du simulateur l'autorise, les Cots obsolètes pourront être remplacés par de plus performants apparus sur le marché.

Les jeux sérieux sont construits à partir d'outils modernes :

- intelligence artificielle (IA) pour le comportement des engins ou des ennemis ;
- modèles de "terrain" (terre, air, mer) conforme au théâtre d'opérations ;
- insertion d'images ou de vidéo réelles.

Deux facteurs permettent de prévoir une explosion de l'approche *serious game* : d'abord l'utilisation naturelle d'Internet par les jeunes comme source d'information rapide avec sa puissance d'impact par son aspect multimédia (texte, son et image) et leur pratique dès le plus jeune âge des jeux vidéo.

D'un point de vue pédagogique le *serious game* peut être très performant : il est adaptable à l'utilisateur, évolutif par une architecture de scénario, très facile d'emploi dès lors qu'il est installé sur un ordinateur portable ou tout autre support mobile...

La réticence, souvent évoquée, selon laquelle un apprentissage ne peut être réalisé par un support ludique, tendra à s'estomper

On voit déjà apparaître des sites Internet proposant de s'informer dans une approche mixte appelée info-divertissement (connaître ce qui se passe ou ce qui est fait par tel ou tel acteur en "endossant" ses actions dans un univers virtuel représentant l'actualité), de tester, d'apprendre par la simulation en jouant une profession choisie... La dimension réseau apporte aussi la capacité de pratiquer ensemble et d'échanger ses expériences.

L'univers des jeux, qu'il soit ludique pure ou à vocation d'apprentissage (*serious games*) sera donc un support incontournable :

- d'information : il permet de présenter les armées, leurs moyens, leurs actions, leurs valeurs, une certaine image de la réalité de terrain... ;
- d'identification de recrues : les résultats des jeux en ligne de l'US Army sont exploités pour repérer les "bons" joueurs ;
- de compréhension sur l'aptitude des jeunes à manier ces outils, qui doit être prise en compte dans les réflexions sur les interfaces hommes-machines ;
- de standardisation : l'importance du marché du jeu sera déterminante dans l'approche architecturale des modèles et les briques élémentaires développées pourraient contribuer à compléter les bases de données spécifiques défense.

Recommandation n° 10

À l'instar des armées US qui investissent largement dans l'industrie du jeu vidéo, mener en France une réflexion en interne défense pour se rapprocher des ces supports qui vont devenir des outils courants au sein de la société.

Bilan et perspectives

Les nouvelles technologies font partie intégrante des outils de simulation. Tout progrès dans le traitement de l'information (puissance de calcul, performance des logiciels) est immédiatement mis à profit pour rendre les simulateurs encore plus proches des conditions auxquelles ils sont dédiés.

L'effort est aujourd'hui porté sur la reproduction de l'intelligence humaine au travers des ordinateurs. Les avancées sont spectaculaires mais encore insuffisantes. Les travaux actuels portent également sur la connexion des simulateurs aux autres

systèmes d'armes qui constituent leur écosystème. Cette connexion est indispensable pour construire un simulateur immergé dans une situation tactique et ne pas former nos forces à des situations qui ne seraient pas opérationnelles.

Enfin, pour que les simulateurs exercent à plein leur mission de formation et d'entraînement, ils doivent donner envie aux personnels de s'y exercer. Cette mission de séduction s'inspire de l'industrie civile des jeux vidéo qui progresse rapidement en raison d'un public très nombreux. Les *serious games* représentent ainsi un pas important pour permettre à nos forces de se confronter à des situations de combat, mais également de maintien de la paix et cela quelle que soit la configuration du terrain ou la culture des armées et populations rencontrées.

Approche facteur humain : l'homme face au simulateur

Le point précédent a montré les progrès technologiques accessibles à court ou moyen terme : les technologies de calcul de haute performance notamment permettront l'accès à des puissances de calcul colossales. Elles amélioreront certaines des carences de la simulation observées en entraînement aujourd'hui. Les simulateurs à tous les niveaux de l'entraînement pourront être conçus de manière de plus en plus réaliste et adaptée au type d'entraînement requis.

Ces simulateurs sauront-ils pour autant répondre en totalité au besoin de l'entraînement des forces ? Les performances techniques "infinies" de ces machines ne seront-elles pas "bornées" par la limite humaine des opérateurs chargés de s'entraîner ? La réponse à cette question mérite une analyse détaillée du facteur humain, et de son lien avec la simulation.

Une limite "humaine" à la simulation : la modélisation de l'environnement

Parmi les limites des simulateurs les plus couramment dénoncées, on note la mauvaise représentation de l'environnement, la difficulté à bien modéliser certains paramètres, et à insérer des éléments réels dans un environnement virtuel (accélérations, vue, odeurs, températures, vent, bruit, toucher...).

Sur des simulateurs de formation ou d'entraînement de premier niveau, dont le but est l'apprentissage de l'interface homme/machine de système d'armes

("boutonite") ou l'entraînement aux procédures, ces défauts ne sont pas réhivitoires. Ils apparaissent "secondaires" par rapport aux plus-values enregistrées d'ores et déjà par ces simulateurs, et le plus grand réalisme offert par la technique ne fera que réduire les carences actuelles.

En revanche, sur des simulateurs plus complexes où un réalisme maximal est recherché (simulateurs de pilotage par exemple), il existe des différences, infimes (accélérations, champ visuel...), parfois dans des domaines jugés sans importance pour l'entraînement, mais qui seront enregistrées par les divers senseurs du corps humain (oreille interne notamment).

Ainsi, un opérateur expérimenté, qui a acquis de multiples expériences réelles, percevra des dissonances, des incohérences entre les informations issues de ses différents senseurs (oreille interne, vue...). À l'inverse, un individu n'ayant pas d'antériorité d'usage, ne sera pas en mesure de détecter ces incohérences et y restera donc insensible. Ce syndrome, connu sous le terme de "mal des simulateurs", est observé chez certains pilotes expérimentés chez lesquels il peut provoquer des nausées ou des troubles réversibles identiques à ceux du mal des transports. En effet, en vol réel, ces individus ont inconsciemment acquis des réflexes et conditionné leur organisme à l'environnement précis de l'appareil. Il leur faudra alors sur simulateur s'adapter rapidement au nouvel environnement simulé en en détectant les biais, ce qui revient en fait à apprendre à "piloter le simulateur" en créant une fonction de transfert pour corriger les incohérences entre la réalité et le simulateur. Ainsi, s'ils constatent que la réponse du manche est plus lente sur simulateur, ils vont créer une fonction de transfert inverse pour "reconstituer l'environnement" appris en vol réel. Cette fonction de transfert sera nécessaire tant que le simulateur n'aura pas une représentativité suffisante au niveau de tous les senseurs de l'être humain.

De même, pour un mécanicien, un entraînement à la maintenance qui utiliserait uniquement un simulateur visuel (caméra, viseur) pour "répéter" l'opération à effectuer serait incomplet : le mécanicien doit pouvoir interagir avec l'environnement réel, notamment sentir le retour de forces lorsque la pièce cogne... Ce type d'entraînement nécessiterait donc la réalisation d'un simulateur complexe (robot 6 axes...) à des coûts de réalisation réhivitoires au vu de l'entraînement visé. Dans ce type de cas, la simulation est jugée "luxueuse" par rapport à l'entraînement sur les matériels réels en période de maintenance.

L'exemple d'un simulateur de tir d'une mitrailleuse en sabord sur hélicoptère dans le centre US d'Orlando est lui aussi révélateur : l'opérateur est équipé d'un casque avec un écran sensé reproduire l'environnement rencontré pendant le vol. Pour être efficace, il est nécessaire de créer une interaction physique contraignante entre l'individu et l'environnement simulé (poignées, armes, fenêtre de l'hélicoptère, vibration...).

Dès lors, une des limites de la simulation pour l'entraînement apparaît clairement : dès qu'un niveau élevé de réalisme est exigé pour une simulation mettant en jeu un nombre important de senseurs du corps humain, il faut modéliser une fonction de transfert très complexe, ou insérer une fonction simulation dans un environnement réel.

On arriverait dans ces cas à des simulateurs très sophistiqués et coûteux, utilisant tous les équipements (réels ou reconstitués) du système pour recréer au mieux les différentes interfaces hommes/machines. Ce type de simulateur n'apparaît adapté que pour des entraînements sur des systèmes complexes (l'investissement est alors justifiable), ou restreint à des entraînements dont la mise en œuvre dans les environnements nationaux n'est plus envisageable (limites d'espaces ou environnementales).

En outre, au-delà de ces paramètres physiques qui jouent sur les aspects sensoriels, certains paramètres tels que la fatigue, le mal de mer ou le mal de l'air, le froid, la chaleur, la durée de la veille où l'opérateur peut s'engourdir sont des paramètres qui influent de manière importante sur l'opérateur et sur sa capacité à réagir. Savoir reconnaître les signaux d'alerte caractéristiques de la fatigue, ou l'engourdissement dû au froid, et connaître leur impact sur la qualité des décisions prises, sont des connaissances essentielles à acquérir pour atteindre un niveau d'entraînement élevé et devenir un chef expérimenté.

Or il est particulièrement délicat de reconstituer tout cet environnement dans un simulateur à terre, en raison des difficultés à modéliser ce type de paramètre et parce que la simulation a tendance à compresser les échelles de temps pour multiplier les situations d'incidents et rendre l'entraînement plus rentable.

Il serait possible de réduire ce décalage "d'ambiance" en favorisant des missions simulées représentatives des conditions réelles, ne serait-ce que par la durée, ou

en faisant jouer tous les éléments de contextes extérieurs : communication, travail de nuit, mise en fatigue préalable des personnels par des astreintes ou exercice physiques...

Mais cette approche nécessite une grande disponibilité des simulateurs dont le coût d'utilisation (nombre d'heures accrues pour chaque exercice) sera élevé. De plus le stress réel, la perception du danger et des conséquences de chaque décision resteront de toute façon difficiles à reproduire...

Néanmoins, ces difficultés, tant pour les paramètres sensoriels que pour certains paramètres physiques, peuvent être contournées par le concept de "simulation embarquée".

Une réponse partielle : la simulation embarquée (*Embedded Training*)

Le concept de simulation embarquée consiste à embarquer sur des systèmes réels des fonctions de simulation.

Il offre de multiples avantages permettant :

- de bénéficier de l'environnement réel du système d'armes, en augmentant par la simulation la réalité de l'environnement militaire, ce qui est favorable à un entraînement de qualité (par exemple, simulation de cibles ou d'ennemis pour entraînement à la mise en œuvre (simulée ou réelle) des armes ;
- de réduire la participation d'éléments extérieurs (plastrons) dont le potentiel n'est utilisé qu'au profit de l'entraînement de l'autre unité (cas de l'avion ou du bâtiment cible) ;
- de bénéficier de cette capacité d'entraînement pour optimiser les périodes d'activité réduite (transit de force navale, déploiements hors du territoire), et éviter les pertes de compétences en opérations de longue durée, en maintenant un entraînement dans des domaines que l'environnement réel de l'opération n'autorise pas.

Ce concept apparaît donc séduisant, mais soulève néanmoins quelques interrogations :

- il impose que les fonctions "simulation" soient intégrées au système d'armes à l'origine, dès sa phase de conception. En effet, il s'agit d'éviter que le rajout de cette fonctionnalité entraîne des modifications lourdes et des qualifications

coûteuses des logiciels missions auxquels sont interfacées les simulations (dans le domaine aéronautique notamment). Dans ce cas, le coût de la simulation embarquée ne mérite-t-il pas à nouveau d'être comparé au coût d'un simulateur dédié dont le réalisme de l'environnement serait particulièrement poussé ?

- le mélange entre les informations réelles et les informations simulées méritent une réflexion approfondie. Comment sont-elles différenciées ? La décision d'injecter un scénario d'entraînement (pour tester les capacités de réaction de l'équipe de conduite) relève-t-elle de l'opérateur ou d'un ordre extérieur ? Comment garantir que les informations simulées n'entraîneront pas des réactions réelles susceptibles de remettre en cause la sécurité ?
- s'il peut exister des délais de quelques minutes pour passer de la situation réelle à la situation simulée (décision d'entraînement correspondant à un stade d'alerte opérationnel faible), il ne doit en revanche pas y avoir de délai pour revenir du mode simulé au mode réel.

La simulation embarquée, si elle ne permet pas une réponse globale, présente de nombreux avantages :

- . Le concept s'adapte bien à certains types de moyens comme les plates-formes navales (capacité d'implémenter de grandes puissances de calcul, capacité de sélectionner quelques postes "en simulation" tout en conservant d'autres postes en veille pour traiter les situations réelles). Il permet de bien dissocier les ambiguïtés entre situations réelles et simulées et de conserver une capacité d'alerte et de traitement des situations opérationnelles inopinées. Ce type de simulation est aussi applicable sur des véhicules terrestres (VAB, char) pour lesquels on remplace l'environnement réel (pilote excepté) par un environnement virtuel complet, la sécurité étant assurée, le pilote et l'équipe de contrôle de l'entraînement (animateurs) "hors jeu". Pour les plates-formes aéronautiques, la simulation embarquée permet d'enrichir la situation tactique présentée à l'équipage, en particulier dans le domaine du brouillage, des contre-mesures, de l'autoprotection... que l'on ne peut mettre en œuvre en réel. Il ne doit cependant pas y avoir d'ambiguïté sur l'état physique réel de l'avion.
- . La simulation embarquée peut permettre, hors phases opérationnelles (bâtiment à quai ou en transit, ou véhicules dans une base protégée...), de bénéficier des interfaces réelles des différents équipements pour réaliser la formation ou les

entraînements de base (boutonite, procédures) sans recours aux simulateurs dédiés. Ce type de simulation ou "simulation noire" utilise les matériels réels de manière totalement découplée des situations opérationnelles en remplaçant par exemple les vitres des véhicules par des écrans. Il permet l'entraînement des équipes et les communications entre véhicules. Ces possibilités d'entraînement en unités constituées peuvent s'avérer moins coûteuses que des simulateurs dédiés. Elles pourraient entraîner des modifications profondes des cursus de formation (moins d'écoles), formations/entraînements individuels complémentaires à bord ou en unités opérationnelles, encadrés à distance (formateurs dans des centres en métropole puis lien internet...).

- . La simulation embarquée permet, lors d'un déploiement opérationnel (Opex notamment), de maintenir les compétences des unités sur l'ensemble du spectre de leurs missions. En effet, le spectre des missions lors d'un déploiement est en général réduit par rapport à tous les types de missions pour lesquelles une unité est formée et entraînée. Cela permet de réduire le coût de la remise à niveau des unités et des équipages au retour des déploiements.
- . La simulation embarquée permet également de coupler facilement plusieurs systèmes de combat par le biais de liaisons automatiques de données tactiques (LADT) sans multiplication de simulateurs dédiés à terre.
- . Elle offre enfin des possibilités de "re-jeu" et d'analyse de situations complexes, grâce à la fonction simulation couplée au système de combat réel.

Ce concept de simulation embarquée peut s'adapter à d'autres types de moyens, aéronefs par exemple, et à d'autres circonstances, dès lors que seules des informations "au-delà de l'horizon visuel" *Beyond Visual Range* sont simulées et peuvent interagir avec le système de combat de l'appareil. En effet, simuler des pistes radar et entraîner le pilote ou l'équipage à réagir à des détections simulées et lointaines paraît simple et compatible avec les impératifs de sécurité du vol ou de la mission, à condition que les périodes d'entraînement sur pistes synthétiques sont clairement annoncées et découplées des missions opérationnelles, et que les informations simulées sont représentées différemment des informations réelles. Ce type de simulation peut être utilisé par exemple pour l'entraînement au combat aérien à longue distance, avec mise en œuvre de l'armement et des contre-mesures. La difficulté liée aux puissances informatiques maximales qu'il est

possible d'implémenter à bord d'un aéronef peut être contournée (simulateurs de bataille à terre et transfert vers l'avion grâce aux LADT [liaison 16]. Enfin, pour ces informations "au delà de l'horizon visuel" (*Beyond Visual Range*), il n'existe pas d'interférences directes avec les informations issues des différents senseurs du pilote (vue principalement).

En revanche, il apparaît beaucoup plus délicat d'appliquer ce concept de simulation embarquée, sur aéronef notamment, dès lors qu'il s'agit de simuler des informations "en deçà de l'horizon visuel" (*within visual range*). En effet, un certain nombre de difficultés ne pourront pas facilement être contournées :

- comment simuler, dans l'environnement réel du pilote d'aéronef ou de véhicule, des informations visuelles en supplément de la vision réelle ? Par exemple comment insérer des cibles au sol simulées dans une mission basse altitude ? Les informations simulées doivent-elles être représentées différemment des informations réelles ?
- comment éviter la confusion entre les informations simulées et les informations réelles pouvant entraîner des réactions d'urgence du pilote risquant d'engager la sécurité du mobile ?

On touche ici les limites de l'injection d'informations simulées dans un environnement réel : il est techniquement très délicat de rendre parfaitement réalistes ces informations simulées, d'où un rejet quasiimmédiat par l'opérateur.

Problématique de la réaction aux circonstances exceptionnelles

Le modèle de Rasmussen classe le comportement humain et le niveau d'engagement des ressources humaines en trois catégories : niveaux *Skills* (routines), *Rules* (règles), et *Knowledge* (connaissance) (modèle SRK).

L'être humain fonctionne à l'économie et a tendance à rester au niveau de la "routine" (*Skills*). Il réagit par "habitude" et tolère alors quelques erreurs sans gravité (exemple : le conducteur mal réveillé qui utilise un dimanche matin sa voiture, prendra la route qu'il emprunte tous les matins pour se rendre sur son lieu de travail et non celle de la boulangerie pour les croissants du dimanche...).

En cas de situation imprévue, il réagit en s'appuyant sur des règles apprises, puis revient rapidement dans le domaine de la "routine" (exemple sur la route habituelle, le conducteur aperçoit un panneau "travaux" : il ralentit (règle) avant de reprendre sa route conformément à ses habitudes).

En cas de situation totalement nouvelle ou inquiétante, il est obligé de faire appel à son domaine de la connaissance pour réagir et gérer cette situation particulière. C'est coûteux en termes de ressources, très créatif et parfois très long. Sur des systèmes complexes (comme beaucoup de systèmes militaires), face à des situations totalement imprévues (telles que rencontrées au combat ou en situation d'urgence), le chef militaire n'aura pas toujours le temps nécessaire pour analyser (domaine de la connaissance) la situation rencontrée et choisir la bonne réaction. Un des objectifs de l'entraînement est bien de savoir réagir à temps face à ce type de situation. Que peut apporter la simulation dans ce domaine ?

La simulation est très bien adaptée à l'acquisition des domaines de la "routine" et des "règles". Le simulateur permet l'acquisition d'une expérience et de règles (procédures) qui permettent de mettre en œuvre dans les situations "habituelles" ou "prévisibles" les bons réflexes.

Cependant, même dans ces deux domaines, la simulation peut avoir des effets pervers. Ainsi, un pilote s'entraîne régulièrement sur simulateur aux situations conduisant à un *crash* (qui ne sera bien sûr pas simulé sur le plan émotionnel et sur le plan des conséquences réelles sur l'individu), une certaine habitude pourra donc s'instaurer et la situation de *crash* s'en trouver favorisée (car fréquemment et faussement simulée). Cette analyse conduit aujourd'hui les équipes responsables des entraînements à arrêter la simulation avant le *crash* effectif.

En revanche, la simulation n'aborde encore que très rarement les domaines des situations exceptionnelles. On mesure pourtant tout l'intérêt, notamment pour le chef militaire, d'entraînements dans ce domaine de la connaissance : comment utiliser la simulation pour augmenter, sans entraîner les biais de l'exemple précédent, la bibliothèque du vécu qui caractérise l'expert ou le chef expérimenté ?

Le niveau de difficulté d'une situation nouvelle rencontrée apparaîtra moindre en fonction des expériences acquises et des apprentissages effectués : il existe une

différence entre la complexité intrinsèque d'une situation et le ressenti de cette difficulté, qui peut apparaître atténuée en fonction de l'expérience de l'individu. En effet, face à une situation complètement nouvelle, l'individu cherchera à reconnaître le problème rencontré, puis choisira la solution la plus adaptée en s'appuyant sur sa bibliothèque des situations rencontrées (cognitive resource management).

Si l'on veut progresser grâce au simulateur dans l'acquisition d'une bibliothèque de situations vécues, il faut sans doute travailler davantage sur :

- la peur, le *stress* : la simulation d'une saturation d'information est facile à recréer, mais ce n'est qu'une partie du problème. Comment recréer un sentiment de *stress* réaliste en situations simulées, injecter des situations simulées en environnement réel sans prévenir les opérateurs et sans moyen de reconnaître qu'il s'agit de simulation ? Comment éviter de créer un *stress* propre au simulateur (peur de l'examineur) sans comparaison avec le *stress* de la situation réelle simulée ?
- la simulation comportementale qui consiste à mettre en situation et à représenter des comportements complexes. Si les modèles sont suffisamment représentatifs, ce qui implique le recours à un moteur d'intelligence artificielle élaboré, ils fournissent des comportements non attendus mais conformes à la réalité. À titre d'exemple, une foule est modélisée dans un environnement de gare et chaque individu est programmé pour se munir d'un billet au distributeur, attendre le train, puis y monter. On constate que certains cherchent à dépasser les autres dans la file d'attente, alors que ce comportement n'était pas programmé initialement. Cet exemple montre que si les comportements complexes sont bien simulés, l'entraînement sera utile. En revanche, si les modèles de comportement ne sont pas suffisamment évolués, ils conduisent à un usage restreint du simulateur et à un rejet par l'individu ;
- la fatigue : comment recréer la fatigue et l'impact de la durée, du froid... pendant les entraînements sur simulateurs ? Savoir reconnaître les signaux d'alerte caractéristiques de la fatigue, ou l'engourdissement dû au froid, et connaître leur impact sur la qualité des décisions prises, sont des connaissances essentielles à acquérir pour atteindre un niveau d'expert ou de chef expérimenté.

Malheureusement, il n'existe que peu de contact entre sociologues, psychologues et acteurs du métier pour améliorer les simulateurs. La modélisation des phénomènes de peur, *stress*, fatigue est ainsi quasiment inexistante.

Conclusion

Le facteur humain constitue une limite pour le développement de la simulation d'entraînement. Une réponse partielle est apportée par la simulation embarquée.

Les simulations des phénomènes de *stress*, de peur et de fatigue sont des axes de progrès qui seuls sont susceptibles d'améliorer significativement l'entraînement aux situations exceptionnelles. C'est la volonté d'approcher au mieux ces situations qui justifient encore pleinement les entraînements réels, avec les limitations qu'imposent cependant la sécurité et la préservation des matériels de l'État.

Le moyen de simulation n'a pas de limite. C'est l'utilisation que l'on en fait qui est limitée. Suivant les niveaux recherchés, il faut favoriser la mise en œuvre de scénario dans un contexte le plus réel possible : horaires de travail, durée de mission, gestion de nombreuses interfaces. Cette formation complexe et lourde en ressources ne peut se justifier par exemple qu'après toutes les phases d'apprentissage de "boutonite", de maîtrise des moyens de mission, des connaissances des doctrines et procédures et pourraient tenir lieu de phase de contrôle (sanction par examen) capable de générer un *stress* se rapprochant de la réalité.

Recommandation n° 11

Définir un programme précis d'utilisation des techniques de simulation fondé sur la qualité de la perception de l'ambiance simulée (fatigue, bruits, *stress*). Pour conforter cet axe majeur de la formation et de l'entraînement, accentuer les efforts sur l'apprentissage des automatismes par la simulation embarquée (dans le respect de la sécurité propre au système d'arme).

Approche culturelle

La simulation : un acquis pour les jeunes générations

Un support quotidien

Dans les années à venir, les simulateurs seront utilisés par la génération actuelle des 15-20 ans qui a grandi avec les nouvelles technologies informatiques. Adeptes des jeux vidéo depuis l'enfance, nourris des supports multimédias fondés sur la perception immédiate de l'information (visuelle ou sonore), puis de logiciels de formation alliant sans appréhension l'acquisition de connaissances à l'aspect ludique, ces jeunes ne comprendraient pas que les armées ne disposent pas de simulateurs conviviaux pour la formation et l'entraînement. Le système de formation doit nécessairement s'adapter aux nouveaux outils informatiques. À l'inverse, les supports papier sont de moins en moins motivants : une étude récente montre que le nombre de livres lus par les jeunes est en régression.

En outre, la capacité des jeunes à maîtriser les affichages de données est aujourd'hui constatée par les concepteurs de jeux qui n'hésitent pas à augmenter le nombre de paramètres à gérer pour rendre le jeu toujours plus attractif. Malgré cela, on peut constater aussi une aptitude à trier, prioriser pour favoriser telle ou telle fonctionnalité suivant une stratégie de jeux qui procède du mécanisme de décision. La jeune génération manie donc le jeu virtuel comme s'il s'agissait d'un système réel.

Enfin l'aspect ludique ne représente pas un élément dépréciateur de la formation ; dès le plus jeune âge, les outils d'accompagnement scolaire associent le travail à la distraction. Il n'y a donc pas de rejet a priori du simulateur comme une sous-réalité qui ne pourrait apporter le même niveau d'expérience. À l'inverse, les jeunes habitués des jeux vidéo peuvent se focaliser sur l'aspect ludique de la simulation et faire preuve d'une concentration irrégulière.

Une exigence de performance

Cette génération est également particulièrement exigeante sur la qualité de la simulation : elle n'hésitera pas à rejeter ou à ne pas prendre comme un outil

crédible un simulateur qui présenterait une situation non réaliste (individu traversant un mur par exemple). L'effet formateur sera alors amoindri, car il n'y aura pas de liaison forte avec le système réel. Mais le jugement de la simulation par la jeune génération pourrait être plus manichéen, car l'analyse critique se sera estompée avec l'habitude de ces outils. Si les modèles utilisés ne présentent pas d'anomalie au regard d'autres références virtuelles, ils peuvent aussi conduire à une confiance forte voire absolue.

Plus les modèles utilisés viseront le réalisme, plus le processus de validation devra être rigoureux pour ne pas induire des erreurs de perception et générer des réflexes inadéquats et de mauvaises décisions.

La jeune génération pourra être tentée d'avoir, dans tous les cas, le maximum de représentativité. Ceci pourrait laisser croire que la performance des modèles devra atteindre de très hauts niveaux et des processus de qualification très lourds.

Il est donc important de ne pas de ne pas se méprendre sur l'objectif et fournir le bon support.

Dans un cas d'un entraînement de tir par exemple, si l'objectif est le bon maniement de l'arme, le côté réaliste du visuel n'est pas fondamental (au contraire une simple cible concentrique permet de ne pas être distrait par d'autres éléments extérieurs) ; en revanche, le comportement de l'arme doit être représentatif (même inertie, sensibilité identique voire accrue, effet de recul, éventuelles autres nuisances : bruit, projection)... Le réalisme de la cible, les effets du tir ne sont pas nécessaires.

Si en revanche, l'objectif d'entraîner le tireur à la prise de décision, il est impératif d'avoir un environnement visuel et des conditions de mise en œuvre (fatigue, posture, conditions climatiques...) réalistes, par contre la représentativité de l'arme peut être réduite (pas d'effets sonores).

L'impact sur les systèmes réels

Quoi qu'il en soit, les modes opératoires devront évoluer pour tenir compte des fonctionnalités offertes par les outils informatiques précités : structuration de

la visualisation des données, commandes instinctives, surplus d'informations par rapport au réel (superposition de plan, compléments d'images au-delà du spectre visuel, données concernant les autres membres de l'équipe...) à tel point que l'ergonomie des systèmes réels risque d'être mise à mal par la montée en puissance des outils de l'univers virtuel.

La tendance est d'ores et déjà prise : le traditionnel "manche à balai" des avions est déjà remplacé par le *joystick* et l'attachement culturel aux interfaces mécaniques disparaît. L'affichage des paramètres de fonctionnement dans le champ visuel est très facile pour la simulation, il s'impose donc naturellement sur tous les systèmes réels (y compris le fantassin).

Néanmoins, tous les candidats ne seront pas aptes à utiliser toutes les capacités et fonctionnalités des simulateurs ; certains les refusent car ils ne sont pas capables de les utiliser. L'emploi de la simulation est un vecteur qui exige un meilleur niveau technique des candidats conduisant à augmenter le niveau général des forces armées.

Recommandation n° 12

Tenir compte de la place que prennent aujourd'hui les outils de simulation dans le quotidien des jeunes et dans leurs schémas de formation, d'information et de communication pour adapter au plus tôt les supports de formation militaire.

La simulation : une question de génération ?

La force de la réalité

Pour les anciennes générations, voire les générations possédant actuellement des pouvoirs de décisions, le simulateur est souvent la variable d'ajustement budgétaire. Le simulateur vient en concurrence directe avec le nombre de matériels à commander, on préférerait disposer d'équipements supplémentaires plus vite, quitte à repousser ultérieurement, voire abandonner, la commande d'un simulateur. On constate également que les mises à niveau des simulateurs suite aux évolutions du matériel interviennent naturellement avec retard et sont régulièrement repoussées

dans le temps lorsque des arbitrages budgétaires sont nécessaires. Il est difficile de définir si cette attitude est à l'origine d'une vision de la simulation comme un moyen encore très imparfait, pouvant certes apporter quelques points positifs mais sans concurrencer l'utilisation des matériels réels, ou si c'est cette perception réductrice qui ne permet pas de placer la simulation plus au cœur de la formation.

La réticence à une utilisation accrue de la simulation ne se traduit pas par un refus, l'acceptation est unanime, mais par le fait que les exercices réels doivent perdurer.

Si personne ne conteste qu'un pilote doit avoir fait des heures de vol réelles pour démontrer son aptitude, il n'en reste pas moins que, chez Air France, la qualification pour changer d'appareil se fait uniquement sur simulateur, malgré toutes les imperfections ou limitations évoquées (simulateur plus sensible, incohérence des enchaînements d'exercices...). Il est donc tout à fait possible après analyse des objectifs de pouvoir statuer sans a priori sur les performances d'une formation par simulation en excluant tout exercice réel.

Il est probable que le comportement des jeunes générations, qui voudront "voir au simulateur d'abord", conduira à modifier cette situation.

La force de l'expérience

Un autre aspect à ne pas négliger dans l'utilisation des simulateurs est lié à la légitimité de l'instructeur. Il est parfois difficile d'être jugé et évalué par un "instructeur simulateur" qui n'a pas l'expérience et les compétences opérationnelles de l'individu évalué même si l'on ne juge pas la même chose en vol et au sol notamment. Dans ce contexte, l'armée de l'Air prévoit à terme de faire évaluer ses officiers pilotes par d'autres officiers pilotes. Les forces sous-marines appliquent d'ores et déjà ce principe : les séances sur simulateurs, qui vont au-delà de l'apprentissage des procédures, sont encadrées par les officiers plus anciens et plus expérimentés que le commandant du sous-marin ou que l'officier chef du quart.

Face à des événements inattendus ou à des situations exceptionnelles nécessitant une prise de décision rapide, on constate également des différences de comportement suivant les générations. Ainsi, si l'on prend le cas d'un jeune pilote de ligne confronté à une situation exceptionnelle, sa première réaction consiste

souvent à se "raccrocher" à une situation analogue vécue au simulateur et qu'il a su résoudre par telle ou telle action. Le simulateur est ainsi à l'origine de réflexes conditionnés qui peuvent conduire à négliger des items fondamentaux de la *check-list* (on a vu au simulateur que...). Il ne faut pas oublier que le jugement dans l'inattendu est la première richesse de l'homme.

Enfin, la crédibilité des scénarios joués se confronte toujours avec l'expérience réelle. Nous avons déjà évoqué la difficulté de développer des modèles comportementaux réalistes surtout dans la perspective de la grande variété des situations à représenter. Le militaire ayant déjà vécu des opérations est forcément plus critique. Cette attitude est à rapprocher de la valorisation de l'expérience : "Celui qui n'a fait que du simulateur ne sait pas vraiment !" En fait cette différenciation doit pouvoir être mise à profit en faisant participer les "anciens" comme instructeur capable d'apporter la légitimité ou les conseils correctifs, ou comme contributeur en Retex pour la consolidation des modèles.

Recommandation n° 13

Valoriser au maximum dans le cadre de l'entraînement et du maintien des compétences, l'apport de l'expérience réelle en impliquant les personnels concernés dans le processus de validation des modèles et dans l'organisation de la formation.

Néanmoins, sur le long terme, on ne peut pas exclure un phénomène de rejet de la réalité virtuelle due notamment à une prise de conscience des déviations et des addictions qu'elle peut produire (perte de repères...) ou tout simplement par effet de mode ou de lassitude. Il importe donc pour les applications militaires de garder une vision prospective du bon équilibre et de ne pas être trop influencé par les engouements sociétaux.

Approche budgétaire

S'il est admis que la simulation ne pourra jamais complètement remplacer les exercices sur systèmes réels, elle demeure un complément indispensable à la formation et répond à la complexification des équipements. Toutefois les considérations budgétaires pour les simulateurs dédiés à l'entraînement sont

souvent déterminantes. Si le besoin des simulateurs est initialement bien identifié et prévu en début de programme, la tentation est grande de se servir de la simulation comme marge de manœuvre budgétaire : les simulateurs voient ainsi souvent leurs performances ou leur nombre diminuer, ou sont décalés calendairement voire abandonnés.

Or, il est souvent difficile de démontrer l'intérêt des investissements dans la simulation car :

- les moyens en service n'ont pas systématiquement fait l'objet d'une analyse de la valeur approfondie sur la durée en service de ces moyens, mettant en rapport les coûts de développement, de réalisation et d'entretien des simulateurs et les coûts induits par les missions d'entraînements réelles (coûts directs, coûts de MCO et d'utilisation du potentiel des matériels en service) ;
- le choix de la simulation est souvent imposé pour d'autres raisons que l'analyse de la valeur (logique d'armement à deux équipages sur sous-marins qui impose un centre d'entraînement à terre ou règles imposées par des instances extérieures au ministère de la Défense : sûreté nucléaire des réacteurs ou des armes, normes Oaci, contraintes environnementales Natura...).

Suivant les systèmes, il n'apparaît donc pas aujourd'hui évident de démontrer si le recours à la simulation représente ou non une économie.

En revanche, un double constat s'impose :

- l'usage de la simulation permet d'optimiser l'emploi des systèmes réels ;
- la maîtrise des systèmes nouveaux nécessite une plus grande période de formation : si la simulation n'entraîne pas de réduction systématique d'utilisation des systèmes réels, elle conduit au moins à ne pas l'augmenter.

Le Centre de simulation Rafale et l'Alat

La simulation est un outil puissant concourant avec d'autres à la formation et à l'entraînement du personnel. Dans un environnement budgétaire de plus en plus contraint, elle participe à l'entretien du niveau de préparation opérationnelle des opérateurs (contrôle aérien, défense sol/air...) et des équipages, qui mettent en œuvre des machines conçues avec un objectif de polyvalence sans cesse accrue, fondée sur un système d'armes de plus en plus complexe.

Dans ce contexte, la simulation pilotée est une fonction essentielle pour améliorer la préparation et l'emploi des forces aériennes. Pour autant, jusqu'à récemment, la simulation pilotée était considérée comme un complément à l'activité aérienne et la qualité d'un entraînement était mesurée essentiellement en termes d'heures de vol.

La crise de disponibilité qui frappe les flottes d'aéronefs depuis la fin des années 1990, conjuguée à l'augmentation très sensible des coûts du maintien en condition opérationnelle des matériels aéronautiques de la Défense, dans un contexte de crise budgétaire majeure (et pérenne ?), a ravivé le débat interarmées, repris au niveau politique, autour de la part que devrait prendre la simulation dans l'entraînement des forces aériennes, en compensation de la réduction d'une activité réelle. S'il en était besoin, le débat autour de l'évolution environnementale de la planète a fait entrer le paramètre "développement durable" dans cette équation déjà complexe à résoudre.

Dans la fiche de caractéristique militaire "Air", la durée de vie de l'avion Rafale est calculée pour un emploi à 250 heures de vol par an, soit 20 ans de potentiel calculés sur la cellule de l'aéronef. Une extension est prévue à 7 000, soit 28 ans entre la livraison et le retrait de service de chaque avion. Il est permis de penser qu'au travers d'essais de fatigue complémentaires, une extension supplémentaire pourrait être obtenue pour amener la durée de vie totale à 30 ans.

Cet éclairage n'a pas d'autre vocation que de montrer que toute augmentation permanente de l'activité aérienne annuelle réduit d'autant la durée de vie de la flotte avec pour conséquence d'avancer des investissements matériels conséquents.

Il ne s'agit évidemment pas là de justifier l'existence du Centre de simulation Rafale (CSR) et l'investissement correspondant par ce seul paramètre.

Si l'armée de l'Air et la Marine nationale ont décidé de consacrer environ 285 M€ (CE 2001) à l'étude, au développement et à l'installation (infrastructure comprise) de deux centres de simulation Rafale sur les sites opérationnels de Saint-Dizier et de Landivisiau, le choix ne repose pas uniquement sur l'argument de la limitation des heures de vol et de la préservation d'un parc Rafale sur la durée.

Le besoin de satisfaire les objectifs d'un centre de simulation ne se discute pas (cf. supra). Mais investir un budget correspondant à l'acquisition de plus de cinq

Rafale auquel se rajoute annuellement le montant correspondant au maintien en condition opérationnelle des installations (3,3 M€ pour l'armée de l'Air) a-t-il un sens en regard du rapport coût-efficacité de l'opération ?

En dépit de son imprécision évidente, tentons une approche mathématique macroscopique visant à évaluer le coût de l'heure de fonctionnement du CSR.

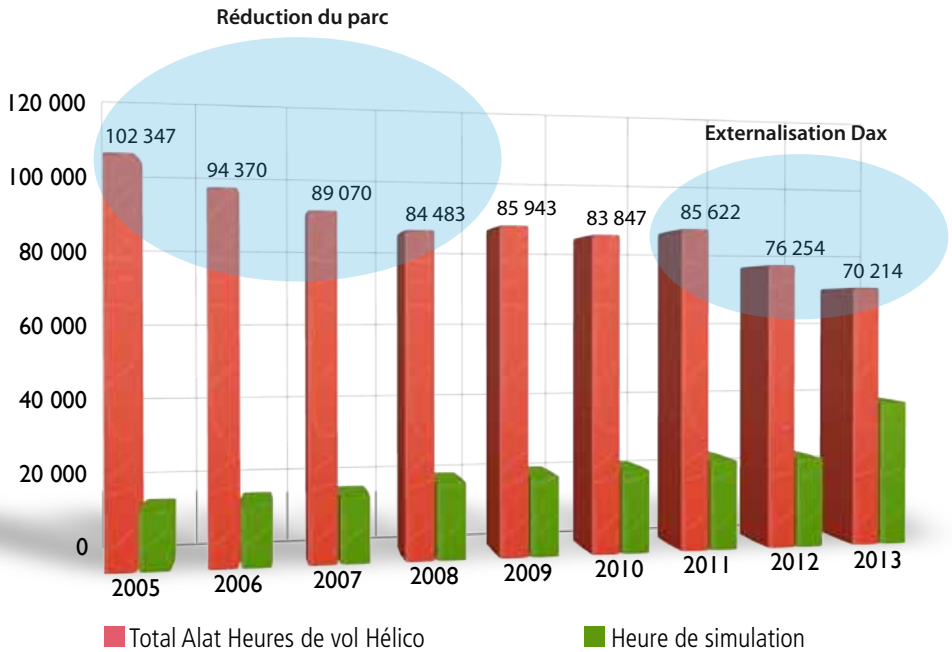
En prenant pour hypothèse que les deux CSR fonctionnent H24 durant 11 mois par an, soit 240 jours en excluant les week-ends et l'indisponibilité pour entretien et mises à niveau, sont générés annuellement deux fois 5 760 créneaux d'une heure. Soit pour les deux simulateurs sur 50 ans, cela représente donc 576 000 créneaux.

Aux conditions économiques de 2001, sans prendre en compte les frais de fonctionnement du CSR (entretien, énergie...) ni les RCS (revenu et charges sociales) du personnel de mise en œuvre, les clauses de révisions économiques, les investissements nécessaires aux évolutions de définition du Centre, les augmentations (ou baisses) de prix dues aux renouvellements de contrats, on aboutit à un coût de créneau de l'ordre de 1 000 €.

Sachant que dans ce créneau, on peut former ou entraîner 4 pilotes Rafale simultanément, on peut s'hasarder à comparer ce montant au coût de 4 heures de vol de Rafale, soit plus de 50 000 € (CE 2005, RCS comprise, hors carburant – Source MMAé).

Même en changeant les conditions d'utilisation (durée de vie, taux d'utilisation), le ratio reste très favorable à la simulation.

Le centre de formation des pilotes d'hélicoptère de l'armée de Terre est très impliqué dans la promotion de la simulation et conduit une démarche forte pour augmenter le ratio d'heures simulées/heures réelles. Cette initiative nécessite une démonstration de la qualité des heures de formation effectuées sur simulateur. En première approche, l'utilisation accrue de la simulation ne conduit pas à réduire d'autant les heures passées sur matériels réels, mais permet de trouver un équilibre qui permet toutefois un gain de coût. Si la démarche connaît aujourd'hui une limite, cette dernière n'est ni technique ni liée à la capacité de la simulation mais bien au maintien de seuil minimum d'heure réel pour garantir la compétence.



Source : armée de Terre

Le graphique ci-dessus montre pourtant l'impact direct de la contribution de la simulation à la consommation du potentiel des matériels réels.

Recommandation n° 14

Soutenir une réflexion sur la justification du nombre d'heures réelles à effectuer par an au-dessous duquel il ne serait plus possible d'apporter les éléments de formation que les simulateurs ne peuvent appréhender.

Le Centac et le simulateur de char Leclerc

Le centre d'entraînement du Centac représente une bonne illustration des limites de l'approche budgétaire. Ce centre représente un investissement difficilement quantifiable (terrain existant) mais les moyens techniques mis en œuvre sont eux soumis à nombre de discussions budgétaires. Par ailleurs la configuration du centre ne permet pas aujourd'hui de former et entraîner les combattants dans tous les environnements possibles ; un manque important est la configuration urbaine.

Le coût de l'heure de formation est élevé en raison du dispositif mis en place (technique d'instrumentation, préparation de mission, analyse, re-jeu), mais le gain apporté par quelques exercices vaut de nombreuses journées de manœuvres classiques.

La rentabilité se constate donc en temps passé pour acquérir une compétence qui est fortement réduite par l'utilisation de la simulation vivante mais aussi par la force pédagogique de cette méthode.

Pour le char Leclerc, les moyens d'instruction (formation et entraînement) sont organisés en un ensemble cohérent d'entraîneurs et de simulateurs prenant en compte les progrès de la simulation et la technologie avancée du char Leclerc pour :

- transférer au maximum la formation et l'entraînement des équipages sur entraîneurs et simulateurs de façon à engendrer des économies financières significatives et préserver le potentiel des chars ;
- permettre de placer les servants dans des situations qu'il serait difficile, voire dangereux, de créer sur le terrain ;
- faciliter la tâche des instructeurs grâce à la reproductibilité des exercices et à la progression de leurs difficultés ;
- améliorer les possibilités de sélection et de formation des équipages ;
- améliorer l'efficacité de la formation.

En raison de la modernité du système d'arme, l'efficacité du char Leclerc repose, d'une part, sur les caractéristiques propres du matériel et, d'autre part, sur la compétence acquise et entretenue des équipages et des personnels de maintenance.

Ceci nécessite de disposer d'un concept global d'instruction à l'emploi et au maintien en condition alliant de façon cohérente et complémentaire :

- l'enseignement pédagogique traditionnel et assisté par ordinateur (EAO) ;
- les entraîneurs et les simulateurs à l'emploi ;
- les simulateurs au maintien en condition.

Nous limiterons l'analyse budgétaire aux entraîneurs et simulateurs à l'emploi qui comprennent :

- l'Entraîneur aux techniques de tourelle (ETT) destiné à l'acquisition et à l'entraînement au savoir faire de base des équipages tourelle ;

- l'Entraîneur au pilotage (EP) destiné à la formation au pilotage Leclerc dans un environnement simulé ;
- le Simulateur d'entraînement d'équipage (SEE) reproduisant la quasi-totalité des fonctions du système d'armes en situation tactique au profit de l'équipage complet et ce jusqu'au mode peloton ;
- le Simulateur de tir de combat (STC) permettant d'effectuer des exercices tactiques avec les chars en matérialisant le résultat des tirs simulés et les sanctions des feux adverses.

L'investissement financier correspondant à l'ensemble des ces simulateurs est d'environ 230 M€ aux conditions économiques actuelles, ce qui représente moins de 5 % du coût du programme Leclerc qui s'élève à environ 5 Md€ pour 406 chars aux mêmes conditions économiques.

On peut se risquer à comparer le coût d'un créneau du SEE à celui d'une heure de fonctionnement du char Leclerc estimée à environ 3 500 € aux conditions économiques actuelles (source DCMAT). Le coût des 14 SEE qui représente environ 50 % du montant total de l'investissement consacré aux simulateurs Leclerc conduit à un coût unitaire de SEE d'environ 11,5 M€. En prenant pour hypothèse une utilisation d'un simulateur 240 jours par an et 8 heures par jour, 1 920 heures de simulation peuvent être générées par an soit sur 20 ans 38 400 créneaux ce qui, sans prendre en compte les frais de fonctionnement du simulateur ni les RCS (revenu et charges sociales) du personnel de mise en œuvre, conduit à un coût du créneau horaire d'environ 215 €. Là encore le ratio reste très favorable à la simulation.

Recommandation n° 15

- a) Réduire le ratio encadrement/personnels formés. Optimiser le personnel nécessaire à la préparation, exécution et dépouillement d'un exercice de simulation.
- b) Rechercher des collaborations entre centres de formation pour bénéficier des installations et des caractéristiques particulières développées par chacun.

La simulation d'entraînement dans la Marine

La simulation d'entraînement dans la Marine a historiquement répondu dans les trois composantes (aéronavales, forces de surface et sous-marins) au besoin d'entraînement à la mise en œuvre des éléments de systèmes d'armes (mise en

œuvre de consoles opérateurs ou de pupitres) et à l'apprentissage des procédures et des dialogues permettant le fonctionnement efficace des équipes de quart, ou la coopération interforces aéronavales.

Sur sous-marins nucléaires, la logique d'armement à deux équipages a renforcé le besoin de centres performants, permettant l'entraînement alterné à terre des équipages et réduisant au stricte minimum la période d'instruction et de préparation de mission et contribuant ainsi au maintien de la posture avec peu de bâtiments.

L'objectif premier de ces entraînements est d'acquérir la maîtrise des procédures en cas d'urgence ou de circonstances exceptionnelles et de garantir aux différentes instances extérieures, la sécurité du sous-marin.

Dans l'aéronavale, le même objectif de sécurité a imposé les premiers simulateurs. Avec l'amélioration de la représentativité et des performances des simulateurs, des perspectives nouvelles d'emploi sont apparues :

- acquisition à terre d'un niveau élémentaire d'entraînement individuel en lieu et place de périodes spécifiques d'entraînement à la mer ;
- capacité à interconnecter les simulateurs ;
- capacité à s'entraîner à la coopération au sein de la force aéronavale (avions, hélicoptères, frégates, sous-marins).

Le réalisme attendu (pour atteindre un niveau d'entraînement comparable ou supérieur à celui d'un entraînement réel à la mer) impose des simulateurs complexes et donc coûteux. Suivant les différents porteurs et systèmes, il est donc nécessaire d'analyser de manière exhaustive ce qui peut être atteint sur simulateur à terre, à quels coûts et avec quelle performance. D'autre part, il est nécessaire de bien évaluer les coûts réels des sorties d'entraînement, sachant que toute mission accomplie à vocation d'entraînement participe à d'autres missions générales de la Marine : sûreté, surveillance, sauvegarde maritime.

Recommandation n° 16

Conduire une analyse de la valeur détaillée permettant de comparer les coûts d'investissement et de MCO des simulateurs au coût complet des missions d'entraînement élémentaires et supérieurs.

À titre d'exemple, les frégates Horizon ou Fremm, le Combat Management System comporte un mode *training* embarqué dont le coût représente 5 à 10 % du coût du CMS (coût du CMS Horizon estimé à 240 M€). Ce mode *training* permet de présenter une situation tactique simulée sur tout ou partie des consoles multifonctions du CMS déclarées au préalable en mode *training* ; les modes opérationnels et *training* sont ainsi découplés et étanches, les informations réelles et simulées ne sont pas présentées simultanément sur une même console du CMS. Ce coût est à comparer au coût d'un simulateur dédié à terre et au coût des missions d'entraînement que ce moyen permet "d'économiser".

Conclusion

L'intérêt économique de la simulation ne doit pas s'évaluer sous le seul angle de l'investissement mais bien dans une politique globale de formation et d'entraînement.

En effet c'est l'ensemble des outils dont certains sont très basiques (ordinateurs portables) qui contribuent à l'obtention de la compétence. Les entités dédiées à la formation et à l'entraînement doivent rechercher le meilleur rapport coût/efficacité.

Recommandation n° 17

Imposer dans le périmètre des programmes un volet formation et entraînement devant s'intégrer dans les dispositifs de formation déjà existant dans lequel le non recours à la simulation devra faire l'objet d'une justification.

Pour répondre au besoin d'interopérabilité, d'opérations interarmées et/ou multinationales, de diversité de cadre d'emploi, de complexité des systèmes, la simulation est aujourd'hui reconnue comme un moyen incontournable. Pourtant, elle fait toujours l'objet de réticences et de contestations.

Il ne faut pas voir la simulation comme un outil unique qui répond à tout, car la simulation n'est pas homogène ; il existe de multiples techniques et niveaux de simulation répondant à autant d'objectifs différents de formation et d'entraînement.

Sur le plan technologique, l'évolution des matériels et logiciels ne laisse pas voir de limites autres que celles de l'imagination même si la modélisation du comportement humain reste la question la plus cruciale. L'emploi des outils de simulation devient banal, naturel et systématique pour la génération actuelle. Tout semble favorable à une utilisation accrue de la simulation. L'explosion des *serious games* en est une illustration.

Cependant, dans le domaine militaire ou certains domaines civils à risques, la perception de mise en conditions réelles représente la dernière difficulté à résoudre pour améliorer significativement l'entraînement aux situations exceptionnelles. Des techniques novatrices telles que la simulation embarquée, la simulation vivante des centres d'entraînement proposent des axes de réponse dans ce domaine.

Sur le plan budgétaire, l'utilisation de la simulation est favorable à la réduction des coûts de formation et d'entraînement et contribue à préserver le potentiel des matériels réels. Sur le plan environnemental, la réduction consécutive des nuisances (bruits, pollution...) constitue un atout supplémentaire.

Le recours à la simulation doit être systématiquement recherché.

Pour atteindre cet objectif, il est nécessaire de renforcer les analyses de la valeur dans le cadre de la stratégie de formation sur tous les systèmes d'armes mis en œuvre, d'accroître la place de la formation/simulation dans les programmes, d'assurer la cohérence de la politique de simulation par le biais d'instances interarmées, de renforcer l'interconnexion des outils de simulation en développant des architectures modulaires, des standards d'échange et de modèles, de coopérer et d'assurer une présence dans les groupes de travail internationaux.

RECOMMANDATIONS

Afin d'en faciliter la lecture, les recommandations formulées dans le rapport sont regroupées suivant quatre thèmes génériques.

Une approche interarmées cohérente et standardisée

Dans le but de favoriser l'émergence nécessaire d'une approche interarmées cohérente et standardisée de la simulation, plusieurs pistes peuvent être explorées :

- Renforcer l'harmonisation des pratiques et favoriser les échanges, tant dans les développements de moyens ou les techniques de mise en œuvre que sur les retours d'expérience, en définissant par exemple un collège de la simulation associant l'EMA, la DGA et les trois armées.
- Profiter du retour de la France dans le commandement intégré de l'Otan pour augmenter notre participation et influence dans les groupes de travail internationaux sur la simulation.
- Renforcer l'évolution de la perception de la simulation par un programme de sensibilisation visant les opérationnels et les décideurs et mettant en avant les points suivants :
 - la simulation peut être un outil très performant si l'on définit clairement ses objectifs ;
 - l'ensemble des techniques disponibles et à venir et les modes de mise en œuvre sauront apporter les réponses à la plupart des difficultés aujourd'hui rencontrées. L'augmentation de la part de la simulation dans les programmes de formation doit faire l'objet d'une mesure effective de performance qui en démontrera la pertinence.
- L'utilisation de la simulation pour un programme de formation ou d'entraînement des forces doit faire l'objet d'une analyse fonctionnelle et de la valeur en définissant très clairement les objectifs assignés à chaque outil (fondée sur une implication des opérationnels en retour d'expérience).
- Devant l'impératif d'interopérabilité et en l'absence de standard spécifique français, les démarches de communalisation de la simulation au niveau européen et Otan, adopter une architecture fondée sur le standard HLA (*High Level Architecture*) et organiser systématiquement les stratégies de simulation suivant les catégories Otan.

Une logique de formation et d'entraînement ciblée et maîtrisée

Dans le but d'impulser une logique de formation et d'entraînement ciblée et maîtrisée, il convient :

- D'imposer dans le périmètre des programmes un volet formation et entraînement devant s'intégrer dans les dispositifs de formation déjà existants, dans lequel le non-recours à la simulation devra faire l'objet d'une justification.
- De mener une réflexion en interne défense FR, à l'instar des armées US qui s'inspirent largement de l'industrie du jeu vidéo, pour se rapprocher des ces supports qui vont devenir des outils courants au sein de la société.
- De tenir compte de la place que prennent aujourd'hui les outils de simulation dans le quotidien des jeunes et dans leurs schémas de formation, d'information et de communication pour adapter en conséquence les supports de formation militaire.
- De définir un programme précis d'utilisation des techniques de simulation fondé sur la qualité de la perception de l'ambiance simulée (fatigue, bruits, *stress*). Pour conforter cet axe majeur de la formation et de l'entraînement, accentuer les efforts sur l'apprentissage des automatismes par la simulation embarquée (dans le respect de la sécurité propre au système d'arme).
- De valoriser au maximum dans le cadre de l'entraînement et du maintien des compétences, l'apport de l'expérience réelle en impliquant les personnels concernés dans le processus de validation des modèles et dans l'organisation de la formation.
- De soutenir une réflexion sur la justification du nombre d'heures réelles à effectuer par an au-dessous duquel il ne serait plus possible d'apporter les éléments de formation que les simulateurs ne peuvent appréhender.

Une adaptation des techniques de simulation aux besoins

L'adaptation des techniques de simulation est un enjeu d'avenir. Afin de répondre à cet enjeu, les pistes suivantes peuvent être utilement exploitées :

- Élargir la couverture de compétences des équipes de réalisation des simulateurs : graphistes, scénaristes, effets spéciaux, psychologues, linguistes, ergonomes en s'inspirant des techniques de réalisation des jeux vidéo.

- Améliorer la modélisation du comportement humain aux fins de simulations militaires, selon les orientations suivantes :
 - à court terme, faire porter l'effort sur l'acquisition de données (retex militaire, experts sociologues et psychologues, études comportementales aux jeux...) allant de la manière dont les forces se comportent, se coordonnent et communiquent sur le terrain, à l'étude des capacités humaines fondamentales. Pour cela, établir un lien direct entre les experts des questions militaires (opérations, comportements guerriers, unités, systèmes, environnement) et les experts de la simulation (développeurs et usagers). Les données devraient être codifiées et faire l'objet d'une démarche d'accréditation et être disséminées vers toutes les communautés intéressées. Les modèles développés devraient être interopérables pour s'inscrire dans les architectures retenues ;
 - à long terme, maintenir un effort soutenu sur le développement de la théorie et sur la recherche en matière de représentation de conscience de situation, de prise de décision, d'apprentissage et de fonctionnement des organisations dans le but de ne plus avoir à intervenir de façon segmentée sur l'implémentation des scénarii.
- Faire évoluer l'ensemble des outils de simulation pour permettre ces adaptations aux conditions d'intervention.
- Organiser une logique de validation des modèles impliquant des opérationnels et des experts du lieu considéré, et de tous les aspects humains (comportement, culture...).
- Réduire le volume et améliorer la modularité des simulateurs afin de faciliter l'emploi sur le théâtre et permettre l'adaptation aux conditions réelles rencontrées.
- Développer l'interopérabilité des outils de simulation :
 - en fixant des conditions de partage d'informations entre simulateurs pour en permettre l'immersion dans une véritable situation tactique représentative sur les plans national, international, Otan ;
 - en fixant un véritable standard de modèle numérique de terrain pour constituer une base mondiale des géographies d'entraînement.

Une rationalisation des coûts

L'intérêt économique de la simulation ne doit pas s'évaluer sous le seul angle de l'investissement, mais bien dans une politique globale de formation et d'entraînement permettant d'en rationaliser les coûts.

Les recommandations qui peuvent être faites en ce sens sont les suivantes :

- réduire le ratio Encadrement/Personnels formés et optimiser le personnel nécessaire à la préparation, exécution et dépouillement d'un exercice de simulation ;
- rechercher des collaborations entre centres de formation pour bénéficier des installations et des caractéristiques particulières développées par chacun ;
- conduire une analyse de la valeur détaillée permettant de comparer les coûts d'investissement et de MCO des simulateurs au coût complet des missions d'entraînement élémentaires et supérieurs.

GLOSSAIRE

Alat	: Aviation légère de l'armée de Terre
AdatP2,AdatP3	: Base de messages standardisés
Comao	: Combined air operations
Cots	: Commercial off the Shells : composant fabriqué en grande série et non dédié à un projet en particulier
CSR	: Centre de simulation Rafale
DMT	: Distributed Mission Training
EAO	: Enseignement assisté par ordinateur (ou CBT : Computer Based Training)
Embedded Training	: Dispositif de simulation embarquée à bord d'un véhicule, d'un avion, d'un bâtiment
FFS	: Full Flight Simulator
FMS	: Full Mission Simulator
FNPT	: Flight and Navigation Procedures Trainer
FTD	: Flight Training Device
HLA	: High Level Architecture
IEEE	: Institute of Electrical and Electronics Engineers
IFR	: Instrument Flight Range

Instinct	: Instruction de l'infanterie au commandement et à la tactique
Jar	: Joint Aviation Rules
JC3IEDM	: Joint Consultation, Command and Control Information Exchange Data Model
LDT	: Liaisons de données tactiques
MCO	: Maintien en conditions opérationnelles
Mico	: Mise en conditions opérationnelles
MMAé	: Mission de modernisation du maintien en condition opérationnelle des matériels aéronautiques de la défense
MPIA	: Modèle pivot inter-armées
RCS	: Revenus et charges sociales
Siag	: Systèmes d'information d'administration et de gestion
Sic	: Système d'information et de commandement
Sil	: Système d'information logistique
Sio	: Système d'information opérationnel
SRK	: Modèle Skills, Rules, Knowledge
SSI	: Sécurité des systèmes d'information
Vab	: Véhicule de l'avant-blindé
XMLIA	: XML Integration Adaptater (XML = Extensible Markup Language)

LISTE DES INTERVIEWS

Gal(2s) Colas des Francs :

Directeur général Coges,

Ancien directeur de la simulation à Mailly

Thème de l'interview : entraînement instrumenté pour l'armée de Terre

Col Philippe Costes :

CDEF/DEO

Ancien directeur du Centac à Mailly

Thème de l'interview : entraînement instrumenté pour l'armée de Terre

Médecin Chef Houlier :

Imassa : Institut de Médecine Aéronautique et de Médecine Aérospatiale du Service de santé des armées
Thème de l'interview : facteur humain

GBA Guillaume Gelée

CICDE

Thème de l'interview : entraînement pour l'armée de l'Air

Emmanuel Chiva :

Vice-président HPC Project

Thème de l'interview : simulation comportementale, puissance de calcul et simulation

Amiral (2s) Sifantus :

DCNS

Thème de l'interview : applications Marine

NetDivision :

Olivier Lombart (Directeur) et Jean Menu (Directeur de projet Jeux Vidéo à la Cité des Sciences et de l'Industrie, Paris)

Thème de l'interview : jeux vidéo et *serious games*

Vincent Corruble :

Maître de conférences Paris VI, chercheur au CNRS

Thème de l'interview : jeux vidéo et *serious games*

Général Yves Arnaud :

Directeur du Bureau enquêtes/accident/défense

Thème de l'interview : facteur humain, approche psychologique, sécurité des vols

COMPOSITION DU COMITÉ

Président :	Yann Chevillon
Secrétaire :	Eric Beignot-Devalmont
Rapporteurs :	Dominique Cariou Henri ROUBY
Rapporteur intermédiaire:	Vincent Larnaudie-Eiffel
Rédactrice en chef :	Isabelle Guiglionda
Conseillers :	Philippe Bon Francis Bruckmann