

rapport final

Optimisation des ressources énergétiques des forces en opération (OREFOPS)

ALEXANDRE TAITHE – PASCAL NEBOIS – BRUNO LASSALLE _____

Rapport n° 174/FRS/OREFOPS
du 9 avril 2014

Marché n° 2012 1050148112
EJ 150 358 88 70

notifié le 11 octobre 2012
réunion de lancement : 9 novembre 2012

FONDATION
pour la RECHERCHE
STRATÉGIQUE

SOMMAIRE

INTRODUCTION	7
1 – LES FLUX LOGISTIQUES, STRATÉGIQUES ET INTRA-THÉÂTRE	9
1.1 – Les flux logistiques stratégiques	10
1.2 – Les flux logistiques intra-théâtre	12
2 – CONSOMMATIONS D'ÉNERGIE DANS LES PHASES DE STATIONNEMENT DE LA FORCE	15
2.1 – Électricité et production calorifique.....	15
2.2 – Eau	18
2.2.1 – La Capacité « Eau » en OPEX.....	18
2.2.2 – Produire de l'eau potable : de fortes consommations énergétiques	19
2.2.3 – L'intérêt multiple de systèmes modulaires, s'adaptant à la qualité d'eau en entrée.....	20
2.2.4 – Anticiper la capacité « Eau » avant la projection de forces.....	21
2.3 – Infrastructure opérationnelle.....	21
3 – CONSOMMATIONS D'ÉNERGIE DANS LES PHASES DE COMBAT DE LA FORCE	23
3.1 – Les plates-formes terrestres	23
3.2 – Les plates-formes aériennes	25
3.3 – Les plates-formes marines	27
4 – ENJEUX TRANSVERSAUX	29
4.1 – Exploration de nouveaux concepts pour les usages énergétiques en opérations.....	29
4.1.1 – Concept zone de stationnement urbanisée	29
A.– Présentation du concept.....	29
B.– Avantages	29
C.– Inconvénients	30
4.1.2 – Concept de Sea Basing	31
A.– Présentation du concept.....	31
B.– Avantages	31
C.– Inconvénients	32
4.1.3 – Concept utilisation exclusive des matériels les plus modernes	33
A.– Présentation du concept.....	33
B.– Avantages	33
C.– Inconvénients	33

4.1.4 – Concept utilisation généralisée de moteurs mixtes thermiques/électriques pour les matériels terrestres.....	33
A.– Présentation du concept.....	33
B.– Avantages	33
C.– Inconvénients	33
4.1.5 – Concept de dépollution progressive des zones contrôlées.....	34
A.– Présentation du concept.....	34
B.– Avantages	34
C.– Inconvénients	34
4.1.6 – Concept gestion de l’eau par production locale et recyclage.....	34
A.– Présentation du concept.....	34
B.– Avantages	34
C.– Inconvénients	34
4.1.7 – Concept de production rationalisée d’électricité	35
A.– Présentation du concept.....	35
B.– Avantages	35
C.– Inconvénients	35
4.1.8 – Concept de généralisation des chargeurs de piles et batteries	35
A.– Présentation du concept.....	35
B.– Avantages	35
C.– Inconvénients	36
4.1.9 – Concept de traitement des eaux de consommation humaines usées en eaux techniques.....	36
A.– Présentation du concept.....	36
B.– Avantages	36
C.– Inconvénients	36
4.1.10 – Synergie interministérielle susceptible d’ouvrir des perspectives d’optimisation des ressources des forces en opérations.....	36
4.1.11 – Concept de structures de stockage de carburant rapidement déployables pour le ravitaillement d’une flotte d’avions.....	37
A.– Présentation du concept.....	37
B.– Avantages	37
C.– Inconvénients	38
4.2 – Démarches et principes d’action mobilisables	38
4.2.1 – Réemploi des matériels, infrastructures et consommables.....	38
4.2.2 – Formation, avancement, sensibilisation : favoriser les pratiques vertueuses en matière d’énergie et d’environnement pour réduire les demandes	38
4.2.3 – Modes d’exploitation des matériels (hors véhicules de combat).....	39

5 – RECOMMANDATIONS	41
5.1 – Synthèse et recommandations à court terme (1 à 3 ans)	41
5.1.1 – Amélioration des connaissances	41
5.1.2 – Prise en compte d’une dimension « Ressources » dans la planification des engagements	42
5.1.3 – Le stationnement	43
5.1.4 – Le matériel	43
5.1.5 – Évolutions des pratiques : Usagers, Processus et Institutions.....	43
5.2 – Synthèse et recommandations à moyen terme (5 à 10 ans)	44
5.2.1 – Amélioration des connaissances.....	44
5.2.2 – Le stationnement	46
5.2.3 – Le matériel.....	46
5.2.4 – Évolutions des pratiques : Usagers, Processus et Institutions.....	47
5.3 – Synthèse et recommandations à long terme (30 ans)	47
5.3.1 – Amélioration des connaissances.....	47
5.3.2 – Nouveaux Matériels	48
5.3.3 – Le stationnement	48
5.3.4 – Évolutions des pratiques : usagers, processus et institutions.....	48
BIBLIOGRAPHIE	51

Introduction

En opération extérieure, la capacité à durer des forces dépend étroitement de leur approvisionnement en énergie. Cet approvisionnement s'avère indispensable pour la vie courante dans les zones de stationnement de la force comme pour les phases d'engagement. En effet, les forces mettent en œuvre des systèmes d'armes gourmands en énergie et par ailleurs le confort apporté aux combattants est de plus en plus « énergivore ».

Cet approvisionnement nécessite des flux logistiques importants, coûteux et vulnérables. Les convois logistiques constituent, en effet, des cibles privilégiées car la rupture du flux logistique pénalise directement les forces au contact. Cette action, paralysante pour la force, est recherchée par l'adversaire autant dans le cadre d'un combat symétrique que dans la lutte à connotation subversive.

L'optimisation des ressources qui conditionnent l'autonomie énergétique de la force engagée, constitue de ce fait une voie de progrès déterminante. Elle est décrite dans le *Livre blanc de 2009* et apparaît depuis comme un processus quasiment incontournable. En conséquence, chercher à réduire la dépendance en énergie des forces projetées, tout spécialement en énergie fossile, s'avère une priorité forte dans les engagements d'aujourd'hui.

À ces raisons opérationnelles, s'ajoutent des impératifs financiers. Ceux-ci poussent le commandement à chercher à économiser sur les consommations énergétiques tout en préservant l'efficacité opérationnelle. En effet, le renchérissement du prix des énergies fossiles et les taxes environnementales associées risquent de réduire d'autant les capacités budgétaires des armées. Dans le contexte général de l'économie des moyens, l'énergie apparaît, donc, comme une contrainte d'importance croissante en opération, au point de pouvoir s'imposer à l'avenir comme un facteur décisif au déclenchement d'une opération.

L'empreinte environnementale d'une force projetée bénéficiera également d'une réduction des consommations énergétiques et de la mise en œuvre de solutions compatibles avec le développement durable. Cette approche respectueuse des intérêts à plus long terme du pays hôte est de nature à faciliter les relations avec ce dernier et à contribuer à préparer au mieux la phase de stabilisation. D'autres éléments positifs indirects peuvent être attendus : dans le cadre de l'approche globale, une prise en compte plus intégrée de l'énergie permettra de favoriser l'acceptation de la force (moins d'impacts sur les populations locales, limitation des pollutions, éventuel transfert de matériels et d'infrastructures). Elle permettra également de se positionner de manière vertueuse face aux exigences grandissantes de la communauté internationale en matière de respect et de sauvegarde de l'environnement sur le théâtre d'opérations.

Compte tenu de ces considérations opérationnelles économiques et environnementales, l'intérêt de réduire l'empreinte énergétique des forces en opération en préservant, voire en optimisant, leur efficacité opérationnelle s'impose et se décline ainsi :

- ➔ Sur un plan opérationnel : réduire certaines vulnérabilités lors des phases logistiques, gagner en autonomie, provoquer une meilleure acceptation de la force, tirer un bénéfice opérationnel de nouvelles technologies plus efficaces ou d'une production d'énergie moins liée aux hydrocarbures.

- ➔ Sur un plan économique : rechercher des économies en limitant les consommations et les gaspillages, limiter l'impact de l'inflation des prix des énergies fossiles.
- ➔ Sur un plan stratégique : anticiper la rareté des énergies fossiles, réduire la dépendance à des énergies importées.
- ➔ Sur un plan écologique : limiter l'empreinte environnementale de la force, maîtriser le niveau de pollution et lancer des actions de dépollution.

Trois leviers essentiels sous-tendent l'analyse : comment mieux produire de l'énergie (amélioration des rendements, diversification des ressources énergétiques, gestion optimisée...), comment réduire la dépendance des matériels consommateurs en énergie (matériels moins électro-dépendants, meilleurs rendements, modes d'exploitation des matériels...), et modifier la pratique des usagers (utilisation économe des matériels et plus respectueuse de l'environnement, utilisation à bon escient des équipements...).

Ces trois leviers seront appliqués aux grandes fonctions que l'on retrouve en opération extérieure :

- ➔ Les flux logistiques, stratégiques et intra-théâtres ;
- ➔ Le stationnement ;
- ➔ L'engagement.

Les enjeux transversaux à ces trois fonctions, ainsi que les propositions, avec présentation de leurs gains et pertes opérationnels respectifs, seront présentés dans la quatrième et dernière partie.

1 – Les flux logistiques, stratégiques et intra-théâtre

➔ Un enjeu stratégique et opérationnel

Au moment de la constitution d'une force préalablement à sa projection sur un théâtre d'opération, l'appréciation la plus juste possible de sa future empreinte logistique devient un enjeu essentiel. Les raisons qui conduisent à mesurer rationnellement un aspect jusqu'à présent trop souvent sous-estimé voire négligé, sont d'ordres opérationnel, financier et écologique.

Une force, par nature composée de modules caractérisés par des encombrements et des masses importants, nécessite à toutes les phases de projection, d'engagement voire de désengagement, d'être soutenue par une logistique adaptée et réactive.

De ce fait, la logistique d'une telle force constitue un poste budgétaire très important au regard du coût global de l'opération. Enfin, l'impact écologique d'un engagement opérationnel négligé jusqu'alors devra être pris en compte comme indicateur notable dans l'avenir.

Il est donc primordial de considérer l'empreinte logistique comme une donnée dimensionnante pour la planification et la conduite des futurs engagements opérationnels. Cette capacité n'est donc plus du seul ressort des logisticiens expérimentés ; toute la chaîne de décision opérationnelle doit s'y intéresser.

Le Livre blanc de la défense et la sécurité nationale de 2008 traite de l'indépendance d'une force en opération, cet objectif opérationnel et stratégique comprend donc l'indépendance énergétique. Une force autonome en énergie est une force plus indépendante.

Selon l'Ingénieur principal Cyrille Foulon¹, « *l'accès à la ressource en carburants est vital à la fois en dynamique pour assurer le mouvement des vecteurs de force dans les airs, sur terre et en mer, et en statique pour produire l'électricité indispensable au bon fonctionnement des installations militaires (antenne chirurgicale avancée, centre de transmissions, centre d'alimentation, zone vie des militaires). En Afghanistan, 30 % des besoins en gazole sont destinés à la mobilité terrestre et 70 % affectés à la production d'électricité via des groupes électrogènes utilisés constamment sur les bases avancées et postes de combat. En hiver, les consommations augmentent de 50 % pour la production d'énergie.* »

À titre d'illustration, l'approvisionnement en carburant devient très vite problématique au Liban lorsque le point de frontière avec Israël de Rosh Ha Niqra est fermé.

Le retour d'expérience du théâtre afghan a rappelé que lors des conflits asymétriques, les convois logistiques constituaient le maillon faible d'une force en opération. Les adversaires préfèrent conduire des actions de harcèlement et de destruction sur les convois de ravitaillement (très difficiles à protéger dans la durée), plutôt que s'attaquer aux échelons de combat. L'OTAN, pour l'approvisionnement de la force, a eu à déplorer en

¹ Cyrille Foulon, « La sécurité énergétique des opérations extérieures françaises : un enjeu opérationnel fort à maîtriser pour faire face à la dépendance pétrolière des forces engagées », *Theatrum belli*, publié en ligne, 16 février 2012 – <http://www.theatrum-belli.com/archive/2012/02/16/la-securite-energetique-des-operations-exterieures-francaise.html>

Afghanistan la perte de près de 300 véhicules citernes, et près de 1 000 véhicules ont été endommagés. Il faut noter que la plupart de ces véhicules étaient des véhicules civils. Toutefois, que les véhicules soient la propriété des forces armées ou qu'ils proviennent du secteur civil local, leur vulnérabilité aux attaques adversaires est semblable et le besoin de les sécuriser reste identique.

L'approvisionnement en carburants des forces en opération est un enjeu clé des conflits modernes et une faille évidente à exploiter pour l'adversaire. Les véhicules citernes à carburants font ainsi l'objet d'attaques répétées et intenses en vue de paralyser, ou tout au moins de limiter, les capacités d'action des véhicules de combat et des aéronefs gourmands en carburants.

Pour répondre à ce dilemme, Renault Trucks Défense (RTD – France) a par exemple développé et breveté une solution innovante pour transporter 15 200 litres de carburants sous haute protection tout en assurant la survivabilité des équipages en cas d'embuscade².

1.1 – **Les flux logistiques stratégiques**

La localisation du théâtre d'opération et l'urgence de la mise en place commandent le choix du vecteur principal de projection (maritime, aérien ou terrestre). Ce choix influence directement sur l'organisation des flux logistiques nécessaires entre la métropole et le théâtre. Ainsi l'échelon d'urgence projeté en début d'opération est souvent mis en place par voie aérienne. Mais compte tenu de son coût (un aller-retour d'un IL 76 entre la France et l'Afghanistan coûtait environ 650 k€ au début du retrait des forces combattantes de ce théâtre), dans la suite des opérations, les voies maritime et routière sont souvent privilégiées.

Le volume de carburant nécessaire à un engagement opérationnel représente une part majeure des flux logistiques (cf. § précédent). La phase de préparation de la « manœuvre » des carburants (ressources locales, lieu de stockage, capacité de stockage, acheminement vers le stockage, distribution, protection des flux, etc.) apparaît, donc, comme l'occasion d'optimiser les ressources énergétiques des forces en opération. En effet, les choix qui découleront de cette préparation seront décisifs pour le bilan logistique de l'opération. En particulier, dans le domaine des approvisionnements en carburants, le complément des vecteurs stratégiques au plus près de leur base de poser sur le théâtre apparaît comme un facteur important dans la recherche de cette optimisation.

² Cf. Husson Jean-Pierre, *Camion-citerne hautement protégé pour ravitailler les FOB*, 13 juin 2012 – <http://www.ihs.com/events/exhibitions/eurosatory-2012/news/jun-13/french/Camion-citerne-hautement-protége.aspx> : « Développée en partenariat avec les entreprises françaises Amefo, Titan Aviation et TRA-C, la citerne protégée est placée sur le porteur logistique aérotransportable 8x8 Kerax de RTD équipé d'une nouvelle cabine blindée jusqu'au niveau 3 du Stanag OTAN. Elle peut recevoir en options une protection anti-roquettes RPG (Slat Armor), un brouilleur d'IED ou encore un tourelleau téléopéré pour assurer l'autodéfense du camion.

Le kit citerne de 15 200 litres est, quant à lui, modulaire pour pouvoir évoluer sans protection en temps de paix tout en respectant les réglementations européennes.

Il est en outre déposable pour pouvoir être utilisé comme station autonome de ravitaillement dans une base avancée (FOB). Lorsque la menace l'exige, un kit additionnel permet de protéger la citerne contre les menaces balistiques (blindage) et des roquettes RPG (Slat Armor) ».

Tableau n° 1 : ENSEIGNEMENTS SUR LA PROJECTION AU MALI – STRATÉGIQUE

La campagne du Mali est caractérisée par une entrée en premier, avec une force significative, sur un théâtre éloigné de la métropole sur très court préavis.

Outre l'effet de surprise, le succès avéré de cette opération repose sur :

- ⇒ l'excellente connaissance du milieu pétrolier (avec ces correspondants habituels et avec certains pays limitrophes de la zone d'opération) par le SEA qui a garanti tout au long de l'opération le ravitaillement en carburant ;
- ⇒ les performances de la manœuvre des vecteurs de transport aérien basées sur une très bonne connaissance des ressources internationales et la capacité à contractualiser rapidement (cf. réserve n° 1 page suivante) ;
- ⇒ une base arrière qui s'est sommairement pré-positionnée (dispositif dimensionné pour 250 commandos au Burkina Faso) mais qui a su accompagner les unités de l'avant en devançant leur besoin logistique.

Enseignement n° 1 :

La projection des forces sur le théâtre malien a été concomitante avec la poursuite du désengagement de l'Afghanistan. De plus, sur cette période, les liaisons habituelles programmées vers les DOM-COM et vers les forces pré-positionnées ont été maintenues. Le CMT (Centre multimodal des transports) a ainsi été très fortement sollicité pour répondre à des demandes exceptionnelles de vecteurs de projection stratégique. La manœuvre de ces vecteurs a été réalisée en utilisant tous les moyens disponibles et accessibles dans le monde, notamment auprès de nos partenaires. Cette opération a également montré les limites de ce qu'il est possible de faire alors que la France ne possède pas de vecteurs aériens stratégiques. Les ambitions d'intervention extérieure de la France sont ainsi tributaires pour l'instant de la disponibilité instantanée des vecteurs de transport stratégique étrangers (alliés ou privés), ce qui souligne la pertinence du programme *Multi Role Tanker Transport* (MRTT), ou de la recherche de vecteurs stratégiques plus économiques, tels les gros dirigeables (capacité d'emport jusqu'à 250 tonnes).

La rapidité de l'intervention et le positionnement du théâtre à l'intérieur des terres ont conduit le commandement français à faire appel en priorité aux moyens de transport aériens. Pour couvrir les besoins de projection sur le théâtre malien, toutes les possibilités (types de vecteurs, contrats de location et d'affrètement) ont été utilisées.

Enseignement n° 2 :

En termes d'enseignement sur l'optimisation de l'autonomie énergétique des forces en opérations extérieures, la projection sur le théâtre malien est particulièrement enrichissante. Les élongations du théâtre et l'absence de ressource locale ont rendu la manœuvre « carburant » contraignante et à flux tendu. Un des enseignements majeurs qui pourraient être retenus de cet engagement, porte sur la capacité d'acheminer et de stocker au plus près des bases logistiques sécurisées, le carburant nécessaire au complètement des vecteurs stratégiques.

Ces enseignements doivent toutefois prendre en compte :

1. L'effet d'aubaine ou de levier constitué par la maîtrise des transports au moyen de gros porteurs acquise lors du désengagement d'Afghanistan, associé à la possibilité de reconduire des contrats récemment conclus dans ce cadre... En clair nous avons bénéficié d'une dynamique favorable (connaissance des interlocuteurs, des prix déjà discutés...).
2. Un format de l'armée de Terre qui apportait certaines facilités qui seront plus aléatoires à l'avenir compte tenu des contractions budgétaires.

1.2 – Les flux logistiques intra-théâtre

Les flux logistiques intra-théâtre caractérisent le transport des munitions, carburants et denrées diverses depuis la base logistique d'entrée de théâtre jusqu'aux forces au contact. Ces flux conduisent à acheminer en temps et en lieu, ce dont les forces ont besoin tout au long de l'opération. Les flux logistiques à l'intérieur du théâtre doivent irriguer toutes les unités déployées, de ce fait ils s'avèrent complexes à mettre en œuvre.

Ces flux peuvent être opérés par vecteurs aériens (hélicoptère de manœuvre, avion de transport tactique) ou par voie terrestre. L'expérience afghane montre que la voie aérienne, et en particulier l'hélicoptère, permet de mieux sécuriser les flux notamment face à la menace des mines et des IED. La voie aérienne plus performante en termes de rendement est limitée aux infrastructures existantes sur le théâtre. Les conflits asymétriques montrent que la voie terrestre est la voie la plus risquée, mais aussi la plus rentable. La sous-traitance du transport, à l'intérieur du théâtre, à des entreprises civiles locales, si elle était généralisée, ne réglerait pas le problème. Le recours à des dirigeables pourrait également s'avérer intéressant dans un cadre intra-théâtre, car leur vitesse demeure bien supérieure à la vitesse moyenne des convois logistiques terrestres, de jour et surtout de nuit, telle qu'elle a été constatée au Mali.

Les capacités des forces françaises en matière de mobilité intra-théâtre sont jugées très insuffisantes eu égard aux ambitions d'engagements. En effet, la France ne dispose pas de capacité de transport lourd par hélicoptère. Le NH 90 possède une capacité de transport intra-théâtre limitée pour l'acheminement des flux logistiques. Un hélicoptère de transport lourds de type Chinook ou Sikorsky ou Mi 26 russe (capable de transporter un conteneur iso 20 pieds) permettra de réduire ce déficit.

Avec la mise en service de l'A400M, la France va bénéficier d'une amélioration très significative de sa capacité de transport tactique. Il serait vivement souhaitable que cette capacité soit complétée par une autre de livraison par air. En effet, le largage de palettes logistiques à proximité des forces engagées offre plus de réactivité et évite les risques liés au transport par voie routière.

Tableau n° 2 : ENSEIGNEMENTS SUR LA PROJECTION AU MALI – INTRATHÉÂTRE**Enseignement n° 3 :**

Compte tenu de la rapidité de la manœuvre et des élongations du théâtre, le SEA a pu montrer sa capacité à soutenir les forces jusqu'au contact. Toutefois, ce soutien demandé par le chef interarmes, et justifié par le contexte, devrait rester une exception.

Le besoin considérable en carburant occasionné par un engagement terrestre important et relativement inattendu a constitué un véritable défi. Toutefois, l'approvisionnement des forces au plus près a toujours été réalisé, notamment du fait des mesures prises par le SEA. Les élongations du théâtre, l'absence de ressources locales, la montée progressive des capacités de stockage ont rendu la manœuvre « carburant » à flux tendu.

Enseignement n° 4 :

Le besoin en carburant pourrait se scinder en trois types : le ravitaillement des forces terrestres principalement les véhicules de combat et les véhicules logistiques, le ravitaillement des avions de chasse, des avions de transport tactiques et des hélicoptères, le ravitaillement des avions de transport stratégiques. Le ravitaillement des 1 300 véhicules déployés au Mali a été effectué par les camions-citernes. Le ravitaillement opératif des avions a été d'environ 500 m³ de carburant par jour. Enfin, le ravitaillement (entièrement sur le théâtre) des avions stratégiques acheminant d'abord les forces puis leur logistique a été jusqu'à 1 000 m³ de carburant par jour. Ces chiffres soulignent la problématique du stockage et de l'acheminement des carburants. Des capacités insuffisantes en stockage de carburants peuvent compliquer considérablement l'engagement des forces. Un des enseignements de la projection au Mali pourrait proposer la conduite d'une étude technico-opérationnelle visant à accroître, avec un court préavis, les capacités de stockage en carburants en opération. Cette étude permettrait de faire un état des lieux des systèmes existants tout en examinant des solutions nouvelles appropriées aux besoins opérationnels nationaux issus du Livre blanc. « *La géographie et le terrain commandent* ». Ce retour d'expérience montre combien l'étude et la planification de l'approvisionnement en carburant sont cruciales quand on cherche à optimiser les ressources énergétiques des forces en opération. Il y a là un levier majeur en vue de cette optimisation qui consiste à planifier à froid le ravitaillement en carburant des avions et en particulier celui des vecteurs stratégiques. Pour parvenir à optimiser l'autonomie des forces en opérations, il semble nécessaire d'étudier en planification à froid toutes les solutions pour acheminer, sur les bases de poser, le carburant nécessaire au ravitaillement des vecteurs aériens stratégiques.

Outre les phases de déploiement et des premiers engagements, généralement plus intenses, la réduction des flux logistiques passe, quand les conditions opérationnelles le permettent, par la diminution des besoins d'une force (électricité et eau notamment) ou par une meilleure autonomie de cette dernière sur ces deux critères essentiels.

2 – Consommations d'énergie dans les phases de stationnement de la force

Lors de cette phase, deux principaux postes consommateurs de ressources ont été identifiés. Il s'agit de la production électrique et calorifique (froid et chaud), et la production d'eau potable ou sanitaire³. Les consommations énergétiques liées aux déchets résultent essentiellement de la logistique nécessaire à la bonne gestion de ces derniers, et sont donc à associer aux enjeux logistiques évoqués dans la partie précédente (matériaux importés pour créer des zones de stockages plus au moins protégées, rapatriement d'une partie des déchets, coûts globaux de leur éventuelle dépollution finale...). À cela s'ajoute les problématiques propres aux bâtiments et aux casernements utilisés en opérations extérieures.

Pour ces trois domaines, l'action pour réduire la demande en énergie et en eau, et la modification des modes de consommation (impact par exemple sur le volume des déchets à gérer) font partie intégrante de l'optimisation des ressources énergétiques en OPEX, et sont évoquées dans les parties 4 et 5.

2.1 – Électricité et production calorifique

Une force en opération éprouve des besoins permanents en énergie électrique semblables à ceux ressentis en métropole. En effet, la base de stationnement sert à la force pour la remise en condition du personnel et des matériels. L'énergie électrique est indispensable à la fois à la vie courante du personnel (chauffage, climatisation, éclairage), mais également au fonctionnement des hôpitaux ou infirmeries de campagne, des cuisines, des ateliers techniques, des moyens de communications, etc.

Pour couvrir ses besoins, une force en opérations a deux possibilités :

- ⇒ **fournir elle-même l'énergie nécessaire ;**
- ⇒ **utiliser le réseau électrique local, quand il existe ou quand sa remise en état est possible.**

Cette deuxième hypothèse n'est qu'exceptionnellement mise en œuvre. Outre le fait que l'infrastructure s'avère souvent inadaptée ou quasi-inexistante dans les zones d'opérations extérieures ou que les installations soient généralement dégradées, se connecter à l'infrastructure existante augmente la vulnérabilité de la force en induisant des inconvénients mettant en cause la capacité opérationnelle (qualité du courant : continuité de l'alimentation, stabilité, capacité à limiter les éventuelles coupures).

De ce fait, apporter sur le théâtre une capacité constituée d'un parc de groupes électrogènes pour garantir d'emblée l'autonomie de la force s'imposera de toute façon, pour pallier des défaillances de l'approvisionnement local en électricité. Ce n'est par exemple qu'après plus de 10 ans de présence au Tchad que la question de privilégier

³ Le plan d'action Environnement du ministère de la Défense (Directive 010991 DEF/SGA/DMPA/SDIE/ENV du 22 août 2011 « portant nouveau plan d'action Environnement du ministère de la Défense »), adopté le 22 août 2011, consacre un développement particulier (point 2.6) à la prise en compte de l'environnement en OPEX, en rappelant les deux axes évoqués par le premier texte dédié à ce thème (Directive interarmées sur la protection de l'environnement de 2004) : la gestion de l'eau et des déchets. La PIA 05-302 de 2004 a été remplacée par la PIA 5.12, à laquelle s'est récemment substituée la DIA 4.0.5 (en cours de publication).

L'utilisation des réseaux électriques locaux à la production sur les sites se pose, et l'on estime déjà que des groupes électrogènes devront être prudemment maintenus.

Aujourd'hui, la capacité de production autonome en énergie des forces demeure la règle, en opération.

Ainsi, l'alimentation des forces en électricité en phase de déploiement est assurée par le Génie grâce à la mise en œuvre de groupes électrogènes d'une puissance de 80 kW et de 400 kW. Le SID qui peut être présent initialement dans le cadre de l'aide au déploiement, intervient pour l'essentiel en phase de soutien au stationnement.

Après un examen du besoin en électricité, il procède à l'achat, sur bon de commande auprès de prestataires sélectionnés, de groupes électrogènes de trois puissances, soit : 125 kW, 250 kW et de 500 kW. La constitution de parcs combinant ces trois puissances associée à un fonctionnement en centrale de ces groupes électrogènes permet de s'adapter à la demande, et d'assurer la continuité de la production (maintenance de certains groupes, alimentation en carburant...).

Ce sont les pointes de consommation estimée qui dimensionnent la puissance totale installée. Comme les groupes aujourd'hui disponibles ne permettent pas l'adaptation en souplesse de la charge, ils sont réglés pour fonctionner à des régimes permettant la meilleure réactivité lors de fortes demandes (pleine puissance ou s'en approchant). Cette logique de surproduction conduit à de fortes consommations de carburant.

Par ailleurs, la synergie attendue par la mise en œuvre d'un fonctionnement d'ensemble du parc constitué par les appareils installés par le Génie, par ceux déployés par le SID et même par ceux disponibles sur étagère, est faible. On peut s'interroger sur les mesures restant à prendre afin de tirer meilleur parti de la combinaison de ces moyens hétérogènes pour apporter une plus-value du même ordre de celle qui est obtenue dans le domaine de la production d'eau potable.

Le poste de la production d'énergie en opération est conditionné par les rendements des groupes électrogènes, par la qualité du carburant, et par les modes de gestion des matériels. Si les objectifs de l'ETO GENALT se concrétisent, **10 à 20 % de carburant pourrait être économisé dans la phase de production de l'électricité** (cf. également le § 2.3 pour d'autres leviers d'économie lors de la production d'électricité, liés à la conception des bases de théâtre).

Cependant, sauf survenue d'une rupture technologique apportant une solution rapidement intégrable par les armées, **plusieurs facteurs rendent cet objectif difficile à atteindre à un horizon de dix ans**. Il s'agit de contraintes et de freins liés au respect d'exigences d'interopérabilité, à la mise en œuvre de matériels mis à disposition par des armées alliées, à la durée de vie du parc existant déployé par le Génie.

La production d'électricité en opération extérieure exclusivement par des groupes électrogènes laisse ainsi peu de place aux possibilités susceptibles de diminuer la dépendance au carburant.

L'optimisation de la production d'énergie pourrait être la conséquence de l'exploitation de sources d'énergies renouvelables en opérations extérieures. Toutefois, le caractère aléatoire de ces énergies (vent, soleil...) nécessite d'associer les centrales éoliennes ou solaires à une capacité de stockage adaptée.

Sans association à une capacité de stockage, ces systèmes au fonctionnement aléatoire ne peuvent garantir seuls une production régulée ni faire face à des pics de consommation ; il faut donc se résoudre à déployer en doublure, des ensembles de groupes électrogènes, comme si les moyens tirant parti des énergies renouvelables n'étaient pas déployés. Ce double déploiement ne procure ainsi aucun bénéfice, ni opérationnel ni logistique, à l'heure actuelle.

De ce fait, l'optimisation est conditionnée par l'aptitude à stocker de l'électricité, qui apparaît en conséquence comme un objectif prioritaire (cf. Genalt). L'armée américaine aurait réussi à diminuer la consommation en combustible d'une base en Afghanistan de 18 gallons par homme et par jour et à 1,5 gallon par homme et par jour⁴, par l'emploi d'un éventail de solutions alternatives (batteries, énergies renouvelables – solaire en l'occurrence – et matériels hybrides).

Par ailleurs, les exigences (fiabilité, vulnérabilité à des attaques...) vis-à-vis d'un système fixe de production d'électricité ne seront pas les mêmes si l'usage final est de chauffer des bâtiments, de produire de l'eau ou de recharger des véhicules de combat hybrides.

Une meilleure maîtrise du stockage de l'énergie électrique devrait également ouvrir des perspectives à l'emploi des véhicules hybrides. Ce « stockage » leur assurerait une source d'énergie complémentaire au carburant, ce qui réduirait les vulnérabilités liées à l'approvisionnement (risque de rupture d'approvisionnement en carburant...).

Le nouveau plan d'action Environnement du ministère de la Défense⁵, adopté le 22 août 2011, comprend plusieurs dispositions ayant des incidences sur les consommations énergétiques en opérations extérieures. Il prévoit notamment le recours à des énergies alternatives (solaire, éolien...) pour remplacer les groupes électrogènes mobiles (point 1.3), ou encore d'étudier l'équipement à court terme des futurs véhicules terrestres de propulsion hybride pour réduire de 30 % les consommations en carburant de ceux-ci (point 1.3).

La gestion de la demande ouvre des pistes de réduction de la dépendance énergétique en opérations extérieures. Le premier axe de diminution de la demande est la maîtrise des pics de consommation, qui commandent le surdimensionnement de la capacité de production. Mais leur lissage est peu évident, et impacte la qualité de la vie et le bien-être des troupes sur le théâtre.

Toujours dans une logique de réduction de la demande, un autre axe concerne la conception des systèmes d'armes, dont l'électro dépendance accrue accompagne la sophistication. Un hélicoptère Tigre nécessitera d'être approvisionné en électricité même lorsqu'il n'est pas utilisé (ventilation). De même, les FREMM ont une consommation d'électricité jusqu'à trois fois supérieure à celle de la génération de navires qu'elles ont remplacée. Les avions de combat ne nécessitent pas de raccordement permanent à l'électricité en stationnement

⁴ Robert Weaver, « Démarche Développement Durable au sein des forces armées américaines et exemples de solutions énergétiques éco-efficaces déployées », Service des essences des armées (SEA), *Achats responsables au ministère de la Défense dans le domaine du soutien pétrolier*, Actes du colloque éponyme tenu le 19 février 2013, 57 p. – http://www.defense.gouv.fr/content/download/205570/2278692/file/Actes%20Colloque%20achats_SEA_fevrier%202013.pdf

⁵ Directive 010991 DEF/SGA/DMPA/SDIE/ENV du 22 août 2011 « portant nouveau plan d'action Environnement du ministère de la Défense ».

Le volet formation sera abordé en quatrième partie. Il apparaît moins important pour le poste de la production d'électricité car, plus que les comportements individuels, ce sont les procédures et mode d'exploitation des matériels qui primeront pour rationaliser, dans un sens d'économie, l'énergie.

Plusieurs pistes expérimentées avec succès par les militaires américains et l'Otan en Afghanistan s'additionnent pour réduire la consommation d'électricité dans une base, et diminuer la part provenant de carburant :

- ⇒ La production centralisée d'électricité par de très gros groupes électrogènes⁶ ;
- ⇒ Le recours dès que possible aux énergies renouvelables (solaire essentiellement sur des tentes, des sacs etc., mais aussi éolienne) de manière décentralisée (alimentation autonome des besoins d'une tente par exemple) ;
- ⇒ Usage de batteries (centralisé et connecté au réseau de la base, et également de manière autonome) ;
- ⇒ Gestion affinée de la climatisation (plus centralisée pour cette dernière) et du chauffage ;
- ⇒ Responsabilisation des soldats et changement des pratiques pour diminuer la demande en énergie : chaque soldat devient un *fuel manager*.

2.2 – Eau

2.2.1 – La Capacité « Eau » en OPEX

À la fois simple à mettre en œuvre, mais très spécifique par les besoins qui ont conduit à son développement, le matériel du Génie (voir tableau suivant) n'est pas forcément le plus adapté à des engagements moins intenses et impliquant moins d'hommes (voir notamment la consommation d'énergie de l'Unité Mobile de Traitement de l'Eau, UMTE). Il doit par exemple être capable de répondre à la qualité de l'eau la plus dégradée (virus...). Or, le Génie est chargé de l'aide au déploiement et sera la première arme à importer sur le théâtre du matériel de production d'eau et d'électricité. Le SID prend le relais du Génie dans la phase de soutien au stationnement, généralement dans les six mois tout au plus qui suivent le déploiement initial (il intervient également lors du déploiement initial, par exemple dans les domaines de l'expertise ou de la contractualisation avec des prestataires).

Le SID (CETID) évalue dans un premier temps la qualité de l'eau disponible sur le théâtre. Il fait ensuite développer et fabriquer un matériel spécialement adapté. Le délai entre le déploiement et l'installation du matériel de traitement de l'eau par le SID est au maximum de six mois.

Le développement spécifique de matériels semble nécessaire, faute d'offre sur étagère correspondant aux besoins d'une base. Il existe une offre pour les stations en dur, dimensionnées pour une ville, ou à l'inverse pour du matériel léger (250 – 500 kg) dans un volume équivalent à une armoire mais à la capacité de production insuffisante pour les armées.

⁶ Robert Weaver, 2013, *op. cit.*

2.2.2 – Produire de l'eau potable : de fortes consommations énergétiques

Dans le commerce, la technologie de l'osmose inverse (ou l'ultrafiltration si la qualité de l'eau en entrée le permet) dispose en théorie de plusieurs avantages. Le premier d'entre eux est sa faible consommation énergétique, généralement autour de 4 kWh par m³ et même autour de 2 kWh si l'eau en entrée est déjà de bonne qualité. Elle ne nécessite ensuite pas de chaleur, et fonctionne directement avec de l'électricité. Un module transportable d'osmose inverse se couple ainsi facilement avec des sources autonomes de production d'électricité, à l'image de petites éoliennes ou de panneaux solaires. La distillation est plus énergivore, nécessitant entre au plus 12 kWh par m³ par ébullition à pression atmosphérique normale, pour 7 kWh par m³ pour les techniques de distillation multi-effets (à une pression de fonctionnement inférieure à la pression atmosphérique, la température du système étant alors inférieure à 90°C).

Les solutions semi-portatives évoquées auparavant oscillent entre 8 et 15 kWh/m³. À titre de comparaison, l'UMTE utilisée par le Génie nécessite autour de 300 kWh/m³ selon la qualité du carburant (220 litres pour cinq heures de fonctionnement)...

Les matériels de traitement de l'eau spécialement développés par le SID pour chaque théâtre présentent une consommation énergétique analogue (fourchette haute) aux appareils commercialisés, selon la qualité de l'eau disponible sur place. Une estimation de la consommation énergétique de plusieurs stations déployées par le SID sur différents théâtres sera bientôt disponible.

Les économies d'énergie obtenues par un changement de matériels devront être mises en balance avec le coût énergétique de la logistique liée à la nouvelle unité de traitement de l'eau.

En opération, les coûts de transport (et du rapatriement le cas échéant) peuvent dépasser la valeur du matériel transporté. Obtenir des gains énergétiques significatifs dans le domaine de la production d'eau potable imposerait une parfaite complémentarité du Génie et du SID. Cette complémentarité déjà effective sur un plan opérationnel (l'approvisionnement en eau est l'une des conditions de l'autonomie des forces projetées), est perfectible en matière budgétaire et énergétique. Une continuité matérielle entre le Génie et le SID, du déploiement au stationnement, pourrait s'avérer suffisante, si la qualité d'eau n'était pas volontairement dégradée par des actions ennemies. Il semble d'ailleurs que l'EMA, dans le cadre d'une transformation en cours, veuille devenir l'organisateur des fonctions transverses, et assurer la coordination interarmées sur ces thèmes.

La logistique Eau intra-théâtre représente, dans certaines opérations extérieures, l'essentiel de la consommation énergétique de ce poste. En Afghanistan, peu de matériels ont été importés sur le théâtre pour suppléer les ressources en eau catégorisées et validées par le SSA. L'eau était ainsi transportée en bouteilles dans les camps français, ou par camions-citernes (ce dernier mode étant particulièrement vulnérable à un empoisonnement de l'eau). L'achat d'eau sur place constitue un facteur indirect d'acceptation de la force, par le soutien ainsi apporté à l'économie locale.

2.2.3 – L'intérêt multiple de systèmes modulaires, s'adaptant à la qualité d'eau en entrée

Des systèmes modulaires, aux normes de qualité compatibles avec la quasi-totalité des eaux du Globe (sauf forte radioactivité naturelle comme certains aquifères profonds en Arabie Saoudite), pourraient ainsi assurer cette continuité matérielle. À titre illustratif, l'armée de l'Air utilise quatre unités d'ultrafiltration pouvant être couplées à un module d'osmose inverse. Le premier module permet d'assurer une grosse production d'eau (débit de 240 m³/j en ultrafiltration) et de répondre à de forts besoins quantitatifs (fourniture à des populations civiles). En opération, un deuxième module, en osmose inverse, garantit la potabilité de l'eau aux normes les plus élevées. Le débit, divisé par quatre, tombe à 60 m³/j pour 12h de fonctionnement.

Tableau n° 3 : MATÉRIELS EMPLOYÉS PAR LE MINISTÈRE DE LA DÉFENSE POUR LA PRODUCTION D'EAU POTABLE EN OPEX

Abréviation et nom	Production	Parc actuel / remplacement	Commentaires
UMTE Unité mobile de traitement d'eau	1,5 m ³ /h	38 unités Remplacement probable à l'horizon 2020	Distillation (basse pression et basse température. Très énergivore. 5h d'autonomie (220 litres) Sur remorque
MATEM Matériel Aérotransportable de Traitement de l'Eau Modulaire	7 m ³ /h	10 unités. En cours de remplacement (2015)	Floculation / Filtration Unité de traitement de l'eau et groupe électrogène intégrés dans un container. Ne répond plus aux normes SSA
SLPEP Station Légère de Production d'Eau Potable	De 7 m ³ /j à 9 m ³ /j (en régime établi)	Démonstrateurs uniquement. Programme arrêté (incapacité du prestataire – Cegelec – à la produire)	Osmose inverse. Ensacheuse intégrée. Certification SSA facilitée en opération. Évolution de la demande
Armée de l'Air	240 m ³ /j en ultrafiltration, 60 m ³ jour en osmose inverse	4 unités En cours d'évolution	Conception modulaire. Un module en ultrafiltration, un module en osmose inverse.
SID/STBFT	Quelques matériels de précédents théâtres		
Marine nationale	Capacité de production d'eau potable embarquée sur les bâtiments		

Alors même que le remplaçant du Matériel Aérotransportable de Traitement d'Eau Modulaire (MATEM) est en cours d'élaboration, cette polyvalence par module paraît séduisante. Elle permet tout d'abord de ne pas sur-dimensionner toute la chaîne eau. Cela évite que la contrainte d'usage la plus élevée (toxiques chimiques de guerre, certains radionucléides)⁷ ne conditionne toutes les procédures de production de l'eau à destination

⁷ Boni Mickaël, Demoncheaux Jean-Paul, Giradet Caroline, Bornert Gille, « Maîtrise de la qualité des eaux destinées à la consommation humaine en situation dégradée : expérience du Service de santé des armées françaises », *Bulletin de l'Académie Vétérinaire de France*, tome 162, n°1, 2009, pp. 13-20.

des troupes, tout en permettant de répondre au cas par cas par l'ajout d'un module, à l'éventualité d'une qualité de l'eau en entrée très dégradée. L'un des objectifs du remplacement du MATEM (avec lequel des problèmes d'homologation de l'eau produite existent) est d'augmenter la capacité de production d'eau des armées, ce qu'offre un système modulaire.

De plus, le premier module étant techniquement plus sommaire (filtration puis désinfection, ou ultrafiltration), il est envisageable au moment du départ de le laisser sur place au profit des populations civiles locales, dans l'optique de l'approche globale. Cela conforte la recherche de matériels standards, simples à mettre en œuvre, à réparer, (pièces de rechange faciles à trouver), et modulaire (seuls les modules à forte valeur sont ramenés en Métropole).

2.2.4 – Anticiper la capacité « Eau » avant la projection de forces

Le choix des sites retenus pour l'implantation des camps est également crucial. Une planification à froid, autant que possible, doit prendre en compte la disponibilité d'eau brute (de surface ou souterraine) à proximité. D'autant que de manière générale, une force se développe autour de son premier site d'implantation sur un théâtre. **La prise en compte de la disponibilité de la ressource permettrait de limiter une logistique identique ou supérieure en volume et en poids à celle du carburant.**

2.3 – **Infrastructure opérationnelle**

La conception et l'emplacement des bases de théâtre ont une importance cruciale, et encore sous-évaluée, sur l'empreinte énergétique globale d'une force.

Le soutien au stationnement en matière d'infrastructures est dévolu au Centre d'expertise technique de l'infrastructure de la défense (CETID, ex-STBFT). Ce service a en charge entre autres missions la gestion de la production d'électricité, les domaines d'application de l'électricité du bâtiment, et l'adaptation des conditions de vie aux exigences des missions et de leur durée (bâtiments durcis ou non, qualité des matériaux selon les exigences de protection, d'isolation thermique etc.). Les bénéfices de la réunion de ces compétences complémentaires au sein d'un même service peuvent être atténués par plusieurs facteurs :

- La durée des OPEX s'avère, dans la quasi-totalité des cas depuis plus d'une trentaine d'années, plus longue que les prévisions initiales. De ce fait, les investissements en infrastructures (durcissement, isolation thermique...) sont différés ou non planifiés, ce qui prive les objectifs de réduction des consommations énergétiques d'un levier essentiel : la régulation thermique des cantonnements. En 2008, l'armée américaine dépensait, toute proportion gardée, davantage pour climatiser les tentes et préfabriqués en Irak et en Afghanistan que le budget de la NASA⁸ !
- L'étape du choix de l'emplacement de la base d'entrée et des FOB dans un théâtre constitue déjà un levier potentiel de contrôle des consommations énergétiques. Dans cette optique, l'accessibilité et la disponibilité de l'eau (cf. § 2.2.4) et du carburant, qui représentent par exemple entre 70 % et 80 % des flux de ravitaillement américains

⁸ Coat Sylvain, « Les énergies renouvelables au service du soutien du soldat en opération », *Logistique opérationnelle*, n°10, automne-hiver 2013, pp. 36-37.

en Afghanistan⁹, doivent devenir un critère essentiel pour la détermination de l'emplacement des bases. Si dans les premiers temps de la phase d'aide au déploiement le ravitaillement sera importé sur le théâtre, favoriser les approvisionnements locaux (ce qui se pratique déjà pour le carburant) limitera les coûts logistiques de ces flux. La présence d'eau brute (à traiter), l'identification de prestataires fournisseurs d'eau à proximité, les risques auxquels sont exposés les convois de ravitaillement empruntant les routes d'accès constituent autant de critères susceptibles de limiter le coût global de la logistique, et son empreinte énergétique. Produire de l'eau potable en OPEX, y compris dans la durée, pourrait en ce sens devenir un principe plus systématique (le recours aux eaux souterraines est rare), pour réduire la logistique eau.

De ces deux remarques, plusieurs pistes de réflexion émanent :

- ⇒ Établir des seuils clairs de rentabilité dans le temps de constructions durcies, d'actions d'isolation ou de réhabilitation de bâtiments existants mis à disposition du pays hôte, en fonction des milieux climatiques et des coûts de la logistique pour une OPEX.
- ⇒ Si les considérations opérationnelles et l'urgence le permettent, anticiper les localisations des bases principales et avancées, en associant au plus tôt les services en charge des principaux flux (SEA, SID, Génie...). En ce sens, une fonction « sécurité énergétique¹⁰ » (à l'image de la fonction « protection de la force ») pourrait être davantage valorisée dans l'organisation du groupe de planification d'une OPEX.
- ⇒ Construire pour durer, pour transmettre. Outre les incertitudes relatives à la durée d'une intervention des armées, les investissements réalisés pour le durcissement ou la réhabilitation des zones de vie pourraient contribuer à une meilleure acceptation de la force dans le pays hôte (reconversion civile des installations, participation des populations locales etc.). Des matériaux locaux peuvent être utilisés comme cela a déjà été pratiqué par les forces françaises en Afghanistan.
- ⇒ Déployer des solutions alternatives, plus ou moins autonomes ou décentralisées, en complément, ou en remplacement quand cela est possible, du carburant unique utilisé dans un premier temps. Outre un usage réduit des hydrocarbures et une logistique carburant moindre, cette pratique a un intérêt opérationnel en diversifiant les sources d'énergie.

Au final, c'est la prise en compte conjointe de la planification (emplacement, accessibilité...), de l'organisation (rationalisation de la production de chaud et de froid, de l'électricité, place laissée aux renouvelables...) et du fonctionnement d'un camp (adaptation des pratiques individuelles...) qui contribuera à l'optimisation des ressources énergétiques en matière d'infrastructure en OPEX.

⁹ Robert Weaver, « Démarche développement durable au sein des forces armées américaines et exemples de solutions énergétiques éco-efficientes déployées », in Ministère de la Défense, Service des essences des armées, *Achats responsables au ministère de la Défense dans le domaine du soutien pétrolier*, Actes du colloque tenu le 19 février 2013, 57 p.

¹⁰ Colonel François Chauvancy (dir.), *Sécurité énergétique militaire*, Étude réalisée dans le cadre du séminaire « Participation des forces armées à la sécurité énergétique », Travail collectif du groupe n°16 d'enseignement optionnel, CICDE, mars 2009, 31 p. + annexes

3 – Consommations d'énergie dans les phases de combat de la force

Lors de l'examen des pistes de réduction des besoins énergétiques des futurs systèmes d'armes, il convient d'être attentif à l'impérieuse nécessité de ne pas sacrifier les performances opérationnelles procurées par ces systèmes d'armes sous prétexte d'économie d'énergie. Les pistes de réduction des besoins énergétiques ne peuvent être envisagées qu'en préservant les performances opérationnelles.

3.1 – *Les plates-formes terrestres*

Les plates-formes terrestres de combat ne constitueront pas en OPEX un levier de réduction des consommations en hydrocarbures au moins à moyen terme pour plusieurs raisons :

- ➔ Tout d'abord, les véhicules de combat roulent peu, de 1 000 à 2 000 km par an (parfois moins). Dès lors, même des gains de consommation de 5 ou 10 % ne représenteront que de faibles volumes dans l'absolu. Dans le secteur naval, des gains de 1 ou 2 % sont au contraire significatifs, car la motorisation est utilisée en permanence, ce qui conduit à économiser de gros volumes de carburant au final.
- ➔ En complément de l'argument précédent, les coûts de mise en œuvre de mesures de réduction de la consommation en hydrocarbures risquent d'être bien supérieurs à l'économie potentielle obtenue au final. Par exemple, l'usage de batteries Lithium-Ion permettrait des gains d'espace et de poids en comparaison avec les batteries au plomb aujourd'hui utilisées dans la plupart des véhicules terrestres, mais leur surcoût varie d'un facteur 10 à 20 par rapport à ces dernières.
- ➔ La mise en œuvre de véhicules tout électrique dans les phases de combat constitue une perspective éloignée (au minimum une quinzaine d'années selon nos interlocuteurs). Le point dur qui semble poser problème réside dans les pics de puissance exigés lors des phases de combat lorsque la quasi-totalité des sous-systèmes embarqués est sollicitée (communication, armement, climatisation, etc.) alors que la plate-forme doit simultanément réaliser de fortes accélérations.
- ➔ De plus, la fiabilité de véhicules 100 % électriques semble être aujourd'hui insuffisante et s'avère généralement incompatible avec les exigences des besoins militaires. À cela s'ajoute le fait que les industriels, parmi lesquels certains ont mené des études sur les piles à combustible, ont décidé de conserver une attitude prudente de suiveurs sur cette question. L'innovation dans ce secteur sera ainsi tirée par les applications civiles.
- ➔ Des solutions actuelles consistent à avoir recours à un alerno-démarrreur, qui peut provoquer un effet de boost électrique de l'ordre de 10 à 15 % sur des pics de puissance. On ne parlera ici pas de véhicule hybride¹¹. Dans des conditions très favorables

¹¹ Sur la définition d'un véhicule hybride, voir par exemple Delprat Sébastien, *Évaluation de stratégies de commande pour véhicules hybrides parallèles*, Thèse de doctorat, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, 167 p., soutenue le 4 janvier 2002 – http://starpsi.free.fr/TIPE/ressources_tipe/Bo%Ee%20id%E9e/automobile/Voiture%20%E9lectrique/th%E9se%20hybride.pdf

(terrain plat, revêtement convenable), la consommation peut baisser d'environ 5 %. Mais en terrain accidenté, le gain en carburant est nul (même en descente sur du sable par exemple). Seul subsiste l'intérêt opérationnel bien réel du surcroît de puissance. Ainsi, les besoins particuliers des véhicules tactiques limitent la capacité de récupération d'énergie car leur profil d'emploi et les itinéraires utilisés très accidentés empêchent cette récupération. En revanche, les véhicules de transport effectuant majoritairement des déplacements sur routes ouvertes peuvent offrir une meilleure capacité de récupération d'énergie. Dans le cas de notre étude, l'apport de mécanismes de type alerno-démarrateur concernera surtout les vecteurs logistiques.

- ➔ Les gains en consommation ou en performance apportés par les nouveaux moteurs sont généralement annulés par le poids croissant des véhicules. À fonctions équivalentes, le rapport de poids entre un AMX 10P et un VBCI est ainsi presque d'un facteur 2. Outre des blindages supplémentaires, de nouveaux équipements électroniques (ou fonctionnalités, y compris le chauffage ou la climatisation) sont intégrés dans les dernières générations de matériels, au détriment de leur masse finale.
- ➔ De plus, sur des matériels demandant le développement de moteurs spécifiques comme les chars, le surcoût du moteur (d'un facteur 10 comparé à un moteur de camion) incite à l'utiliser avec parcimonie. Contrairement par exemple au VBMR où le potentiel du moteur d'origine civile sert au maintien des fonctions électriques, un véhicule principal de combat sera équipé d'un système auxiliaire (poids supplémentaire) pour la production embarquée d'électricité.

Au final, les solutions actuelles d'optimisation des ressources énergétiques des véhicules de combat présentent des avantages exclusivement dans le domaine opérationnel. Mais elles s'avèrent particulièrement coûteuses et ne réduisent que marginalement la consommation en hydrocarbures. Au contraire, elles peuvent conduire à augmenter l'électro-dépendance des matériels en phase de stationnement.

Des pistes d'amélioration réelle existent toutefois à plus long terme :

- ➔ La pile à combustible est perçue par les industriels comme une technologie mûre, le problème étant alors la disponibilité et la production du dihydrogène. Si l'industrie de défense est suivieuse sur ces sujets, le maintien d'une veille technologique sur les nouvelles sources d'énergie pour les véhicules, et sur les formes de propulsion (moteur électrique mais surtout les moteurs hybrides) paraît indispensable.
- ➔ L'allègement des véhicules est le principal levier de réduction des consommations énergétiques, malgré les réserves émises précédemment. La conception des futurs véhicules par module semble être la piste la plus prometteuse pour optimiser les usages énergétiques, en adaptant au mieux le matériel aux missions. Concevoir des blindages additionnels facilement amovibles en dehors des périodes d'engagement est un exemple susceptible d'offrir simplement des gains de consommation.

De nouvelles architectures de véhicules rendent envisageables des réductions de poids de l'ordre de 20 % (Cc. PEA Allègement), entraînant des baisses de consommations énergétiques dans les mêmes proportions. En revanche, le coût d'achat deviendrait alors le point bloquant, à mettre en balance avec les gains opérationnels (car les économies réalisées sur les coûts de propriété tout au long du cycle de vie ne compenseront pas le surcoût d'achat pour un véhicule de combat).

- ➔ Les véhicules chenillés pourraient bénéficier d'innovations diminuant significativement les consommations énergétiques. Des chenilles souples (Nexter) apporteront une réduction du poids, une diminution des vibrations, permettront une conduite plus souple. Au final, des chenilles souples permettraient à puissance équivalente, soit d'atteindre une vitesse plus élevée, soit de gagner en consommation selon l'usage.

À noter que l'évolution vers des véhicules tout électrique engendrera de nouvelles vulnérabilités. L'usage de batteries Lithium-Ion n'est pas sans danger comme nous le rappelle l'épisode récent des risques de feu affectant le compartiment des batteries des Boeing 787 Dreamliner. Le Lithium est inflammable au contact de l'air. De même, le stockage du dihydrogène exigera le recours à de hautes pressions (300 à 700 bars), ce qui présente un risque spécifique en cas d'attaque du véhicule. Si, certains véhicules transportent déjà des matières explosives (carburant, munitions...), les nouvelles technologies évoquées précédemment présentent une dangerosité d'une échelle supérieure.

Dans le même registre, une voiture électrique utilise des hautes tensions (parfois 600 V), ce qui imposera des mesures de protection de l'habitacle des futurs véhicules.

À moyen terme, le moteur électrique présente un intérêt en tant que moyen de fourniture d'énergie annexe. Il ne peut suffire à l'alimentation globale d'une plate-forme terrestre de combat. Sur le plan environnemental, il améliore à la marge l'impact des forces terrestres. D'un point de vue opérationnel, un très faible bruit de fonctionnement, favorisant la discrétion et l'effet de surprise, est à noter.

3.2 – *Les plates-formes aériennes*

Le carburéacteur représente un peu plus des deux-tiers des consommations énergétiques du ministère de la Défense (ramenées en Tep). L'évolution des usages énergétiques des plates-formes aériennes représente donc un levier potentiel important pour la maîtrise des usages énergétiques du ministère de la Défense. Mais à l'instar des informations collectées dans le secteur des véhicules de combat terrestres, il ne devrait pas y avoir, y compris à long terme, de réductions significatives des consommations énergétiques des vecteurs aériens de combat.

Le futur système aérien de combat pourrait comporter trois composantes :

- ⇒ Un avion de combat piloté ;
- ⇒ Un drone de combat (rayon d'action de 1 000 milles nautiques pendant 6 heures) ;
- ⇒ Un drone de surveillance (12h de surveillance sur zone).

Les caractéristiques de ces futurs matériels sont à peine esquissées, mais plusieurs remarques peuvent d'ores et déjà être faites, qui confortent le sentiment que les consommations énergétiques ne seront pas révolutionnées par le futur système aérien de combat.

➔ Tout d'abord, un éventuel nouvel avion de combat piloté devrait avoir des caractéristiques moteur et de vitesse (Mach 1.6 à 1.8) au mieux équivalentes à celles du Rafale, et au pire (quant aux conséquences en termes de consommation) proches de trois fois la vitesse du son.

Les deux drones devraient être équipés de manière probable d'une adaptation de moteurs existants, au regard de la durée (au moins 10 ans) et du prix (de l'ordre du milliard

d'euros) du développement d'un nouveau moteur. Il s'agirait d'un moteur civil (plutôt pour le drone de surveillance), pour lequel les consommations énergétiques sont une préoccupation importante de la conception. Un drone de combat, même s'il est conçu pour évoluer à des vitesses subsoniques, pourrait être équipé d'un dérivé de moteurs existants destinés à des appareils militaires, comme le M88 ou le TP400.

➔ De plus, l'optimisation des moteurs actuels aurait déjà atteint un seuil (taux de dilution, mélange air/carburant...), ce qui laisse peu de place à un progrès majeur sur ces aspects. L'hypothèse de nouvelles énergies embarquées dans des avions semble de plus très peu probable dans les 40 à 50 prochaines années. Si la pile à hydrogène peut être intéressante pour les véhicules terrestres entre le moyen et le long terme, le stockage de l'hydrogène pose des problèmes particuliers au secteur aéronautique (volume du réservoir, poids du contenant 4 à 5 fois supérieurs au contenu...), ce qui nuirait à la fois aux performances et potentiellement à la consommation énergétique finale.

➔ Ensuite, l'estimation comparative des consommations énergétiques des systèmes aériens de combat actuel et futur n'a pas été faite. Une telle comparaison a été réalisée sur un plan financier quant au coût respectif de cycle de vie des deux systèmes. Elle est favorable au futur système, notamment grâce à la réduction des vols d'entraînement liée à l'entrée en service de drones. Mais cela n'entre pas dans le champ de l'étude. Un système aérien plus complet pourrait conduire à l'augmentation du nombre global d'heures de vol (hors entraînement) des différentes plates-formes. Or les drones envisagés ne sont pas radicalement éloignés des avions existants (moteurs, poids), et seront probablement proches de la classe d'un Mirage 2000. Leur usage plus fréquent ne devrait ainsi pas entraîner de baisses significatives des consommations énergétiques par les plates-formes aériennes pouvant être déployées en OPEX.

Dans le cas d'un avion de combat, l'usage de carburants alternatifs de type GTL ou CTL (*Gas to Liquids, Coal to Liquids*) est en théorie possible sans restriction, sous réserve de certifications (mais sans intérêt opérationnel autre que de pouvoir diversifier les carburants utilisables). L'intérêt de ces carburants alternatifs serait alors plus géostratégique (réduction des dépendances aux hydrocarbures importés, capacité de transformation sur le territoire national) que financier (la transformation a un coût énergétique), environnemental et donc opérationnel.

De ce fait, il ne faudra pas espérer de gains énergétiques autres que marginaux par le matériel à moyen et long termes en comparaison avec les plates-formes actuellement déployées.

En revanche, des consommations énergétiques pourraient être économisées avec l'optimisation des procédures de mise en œuvre des matériels. Par exemple, redéfinir par types de mission les plafonds de vitesse maximale dans l'optique de les diminuer, sans compromettre la dimension opérationnelle de ces dernières, aura un impact direct sur la consommation énergétique d'un aéronef (les frottements avec l'air sont entre autres proportionnels au carré de la vitesse).

Enfin, certains drones actuels utilisent un carburant spécifique (le F-18), ce qui oblige à organiser une logistique dédiée. Outre le surcoût que cette dernière engendre, elle constitue également une vulnérabilité capacitaire supplémentaire. Au Mali en 2013, la mobilisation de ce carburant spécifique aux drones déployés a nécessité 8 containers de 20 pieds (KC20), acheminés par avion. Le choix du type de carburant utilisé par les

futures plates-formes aériennes doit, entre autres, prendre en compte les contraintes logistiques qu'il entraînera en OPEX.

3.3 – *Les plates-formes marines*

L'action sur les plates-formes marines devrait constituer un levier significatif d'économies de carburant à court et moyen termes, et dans les prochaines décennies.

Les moteurs des navires sont en effet sollicités de manière continue, que ce soit pour la propulsion ou la production de l'électricité nécessaire au fonctionnement du bord. Dès lors, une économie de quelques pourcents sur les consommations embarquées aura des conséquences substantielles.

Or les leviers semblent multiples et importants. À court terme, différents dispositifs pourraient chacun réduire jusqu'à 5 % la consommation d'un bâtiment (nettoyage hebdomadaire du voile biologique par robot, mise en place de flaps à l'arrière de grands navires, amélioration du rendement des moteurs par exemple par des dispositifs piézo-électriques¹², intégration d'une voile/cerf-volant...). De même, les bénéfices sur l'aviation navale, outre les gains financiers relatifs au poste carburant de la marine, renforceront l'autonomie opérationnelle des composantes de la flotte qui intègrent des aéronefs embarqués (volume de carburéacteur embarqué). Concernant les missions de patrouille maritime, le changement des hélices des *Atlantique* (ATL2) réduirait par exemple jusqu'à 10% les consommations de cet appareil.

Le recours au nucléaire ne s'avèrerait rentable que pour les plus gros bâtiments, même dans l'hypothèse de prix élevés du pétrole (150 dollars le baril). Le coût d'un réacteur augmenterait en effet de 50 % le prix de navires de taille modérée (une frégate par exemple¹³). Mais les intérêts opérationnels du nucléaire demeurent prégnants, et plusieurs pistes sont explorées, telle l'utilisation de cette énergie dans de petites unités de production d'électricité¹⁴, ou dans le cadre d'une future tri-génération¹⁵ (système turbine à gaz, turbine à vapeur, évaporateur nucléaire – le coût de cette solution demeure élevé).

L'écoconception des navires garantit autant que possible la prise en compte de l'objectif d'optimisation des consommations énergétiques. Le projet EcoShip de DCNS est exemplaire à ce titre, et a conduit au développement d'un bateau avec une attention toute particulière¹⁶ apportée à l'hydrodynamisme, à l'aérodynamisme et à la récupération de la force des vents (entre autres par des volets orientables, par un travail sur le profil des cheminées), à la réduction des consommations d'électricité à bord (notamment sur les deux plus gros postes, la ventilation et la climatisation), sur la propulsion hybride diesel – électrique, intégration possible d'une cerf-volant comme système de propulsion auxiliaire

¹² Frédéric Rougé (dir., pour l'État-major de la marine), *Rapport final du groupe de travail « Marine et pétrole »*, 17 juin 2009, 20p. + annexes.

¹³ *Ibid.*

¹⁴ Conseil scientifique de la Défense, *rapport final du groupe de travail « Perspectives énergétiques, besoins des armées et nouvelles technologies »*, version du 31 août 2011, 27 p.

¹⁵ Exemple pris par Frédéric Rougé (dir., pour l'État-major de la marine), *Rapport final du groupe de travail « Marine et pétrole »*, 17 juin 2009, 20 p. + annexes

¹⁶ Voir entre autres : Philippe Goubault, Jade Garcia, Philippe Thieffry, Christophe Chabert, Le concept ECOSHIP, « une illustration de la démarche d'écoconception mise en place par DCNS dans les dernières années », *Revue maritime*, n°484, février 2009.

(si les exigences opérationnelles permettent son emploi), optimisation de la propulsion en fonction de la houle...

Les bénéfices cumulés de cette approche réduiraient de près de 60 % l'empreinte environnementale globale (sur la base d'un bouquet d'indicateurs dont les coûts de possession) de l'Ecoship en comparaison à un navire similaire de conception classique, sur l'ensemble de son cycle de vie (construction, exploitation, démantèlement). L'amortissement des surcoûts (conception, technologies embarquées) devrait être réalisé en tout au plus sur cinq années.

En matière de propulsion / génération d'électricité, la réduction des consommations énergétiques des navires s'oriente vers des architectures hybrides, à partir de moteurs diesel lents ou semi rapides. Dans ce cas, un moteur diesel, utilisé à un régime constant correspondant à son meilleur rendement, produit de l'électricité à la fois pour la propulsion et pour le fonctionnement du bord. Une autre forme de moteur hybride (moteur diesel pour la vitesse de croisière, propulsion électrique aux basses vitesses) est également déjà implantée (Ecoship) ou projetée (*Offshore patrol vessel*). L'incorporation de moteurs diesel lents ou semi rapides, plus gros, moins vifs mais également beaucoup moins consommateurs de carburant, est une solution déjà incorporée par DCNS dans des projets de frégate ou d'*Offshore patrol vessel*.

À long terme, plusieurs orientations de propulsion permettent d'espérer des réductions de consommations énergétiques de l'ordre de 50 % en comparaison à la flotte actuelle : piles à combustible chaudes, navire tout électrique, passage à la cogénération pour les navires de premier rang, et comme évoqué précédemment, la tri-génération (avec un évaporateur nucléaire) si son coût est accessible.

La production d'énergie en mer est le dernier point à mentionner. Elle ne rentre dans le cadre de l'étude à court et moyen termes que dans le cas où la base d'entrée d'une OPEX est en mer (version logistique et allégée du *sea basing*, cf. § 4.1.2), et dans celui d'une base terrestre principalement alimentée en énergie (carburant et/ou électricité) par des installations en mer (barges, navires...). Dans ces hypothèses, le suivi des innovations en cours dans le secteur civil pourrait renforcer dès la prochaine décennie l'autonomie des forces lors de futures missions : éoliennes flottantes, récupération de l'énergie des courants marins (hydroliennes) ou de la houle, petites centrales nucléaires immergées ou sur barges.

4 – Enjeux transversaux

4.1 – *Exploration de nouveaux concepts pour les usages énergétiques en opérations*

Il s'agit de définir et d'analyser des nouveaux concepts pouvant s'avérer pertinents dans la logique de l'étude. Pour chacun des concepts présentés, on fera apparaître les avantages apportés, les inconvénients présentés et les conséquences induites pour la conduite des opérations.

4.1.1 – Concept zone de stationnement urbanisée

A.– *Présentation du concept*

Il s'agit de concevoir les zones de stationnement des forces en opérations hors du territoire national dans une double perspective. Une perspective opérationnelle à court terme et moyen terme dédiée à l'hébergement de la force et une perspective post-opération à plus long terme s'inscrivant dans le cadre de l'aménagement du territoire du pays hôte et participant à l'aide au développement de ce pays.

Dans cette logique, l'édification du site est, dès le départ, conçue pour satisfaire les besoins militaires puis civils. Cette logique particulière de double emploi, que l'on peut comparer à celle qui est adoptée pour la construction des infrastructures érigées à l'occasion des jeux olympiques, va influencer sensiblement la localisation géographique des zones concernées et le type de constructions.

La zone géographique d'implantation est directement influencée, car dans le cadre du dialogue avec les autorités du pays hôte, la zone militaire pourra plus facilement faire l'objet d'arbitrages favorables à la force déployée du fait de son emploi final. Cette approche permettra d'obtenir des autorisations d'implantations favorables à la force à proximité des voies de communications, des centres des villes, etc.

Le type de construction est également influencé, car dans cette logique, le provisoire n'est plus de mise, il s'agit de construire en dur puisque l'ensemble du projet d'urbanisation s'inscrit dans la durée.

Le retour sur expérience des dernières opérations et les simples constatations inhérentes aux constructions privilégiant les économies d'énergies convergent pour mettre en évidence l'intérêt d'adopter des constructions en dur.

B.– *Avantages*

- ➔ Protection des combattants au repos par des structures renforcées :
 - ⇒ les toits conçus pour limiter les effets des projectiles de mortiers et grenades (tir plongeant) cf. RETEX Afghanistan ;
 - ⇒ les murs conçus pour résister aux projectiles de petits calibres et au souffle créé par l'explosion d'une petite charge ;
 - ⇒ une structure permettant de s'isoler d'une éventuelle pollution de l'air extérieure.

- ➔ **Confort du personnel abrité :**
L'habitat en dur permet un mode de vie plus confortable favorisant le repos des combattants.
- ➔ **Économies d'énergie :**
Les bâtiments du type "basse consommation" répondent aux normes privilégiant les économies de chauffage ou de climatisation en recherchant une consommation minimum d'énergie. Idéalement ils sont du type bâtiments à basse consommation selon la réglementation thermique française RT2012¹⁷.
- ➔ **Avantage en production d'énergie :**
Les bâtiments incorporent des dispositifs de production d'énergie de type solaire et/ou éolien.
- ➔ **Avantages en termes de localisation :**
Dans la perspective de l'emploi futur, les autorités locales seront vraisemblablement mieux disposées pour accepter de mettre à disposition de la force concernée des zones favorables (proximité des réseaux ferrés, ports, zone d'activité économique) dans le cadre des négociations menées en phase de préparation du déploiement de la force.
- ➔ **Avantages en termes de démantèlement :**
En fin d'opération, la rétrocession des lieux est facilitée par le transfert des infrastructures au pays d'accueil. Ce transfert permet d'éviter les démontages et déconstructions, voire dépollutions que nous connaissons habituellement lors de cette étape du retrait d'une force.
- ➔ **Avantages en termes de coopération :**
Dès le retrait de la force, les autorités locales du pays d'accueil peuvent disposer à leur convenance de bâtiments de qualité immédiatement utilisables, voire adaptables à peu de frais pour des utilisations de type écoles, hôpitaux, locaux administratifs...

C.- Inconvénients

- ➔ Délais de construction nécessitant des locaux légers au départ...
- ➔ Nécessité d'accords interministériels au cas par cas ou dans le cadre d'une politique interministérielle permanente à imaginer...
- ➔ Négociation avec le pays hôte qui peut être longue et incertaine.

¹⁷ Un bâtiment "basse consommation" selon la réglementation thermique française RT2012 est un bâtiment dont la consommation en énergie primaire pour le chauffage, le refroidissement, la ventilation, la production d'eau chaude sanitaire, l'éclairage et les auxiliaires techniques (pompes...) est inférieure de 80 % à la consommation normale.

4.1.2 – Concept de Sea Basing

A.– Présentation du concept

Si l'idée d'une base mobile en mer n'est pas nouvelle, le concept de *Sea Basing* (ou *Seabasing*) a été formalisé¹⁸ comme l'un des trois axes de développement de la Marine américaine en 2003. Cette vision renvoie à la recherche d'un renforcement de l'indépendance opérationnelle, et du soutien au plus près des forces projetées.

En matière de prospective stratégique, le concept de *Sea Basing* s'inscrit dans un questionnement sur la conflictualité future, et l'importance croissante des franges littorales. En 2010, 70 % de la population mondiale habitaient sur une bande littorale de 100 km de large¹⁹. Cependant, l'accès à des ports et aéroports dans ces zones n'est pas garanti. D'autant que des puissances étrangères pourront également faire pression sur un pays riverain d'un futur théâtre extérieur, pour qu'il restreigne l'accès à nos forces de ses infrastructures aéroportuaires. Dès lors, la perspective d'une base interarmées de théâtre en mer devient une hypothèse de travail.

Le *Sea Basing* peut se traduire, dans une acception minimale, comme une base logistique en mer, et dans une acception étendue, comme une capacité d'ouverture de théâtre en mer, regroupant la plupart des fonctions nécessaires à une OPEX, de la logistique au commandement, intégrant même le stationnement des forces et capacités.

Malgré des contraintes budgétaires, la Navy a inauguré le 2 mars 2013 l'USNS *Montford Point* (T-MLP 1), premier navire de la catégorie des « *Mobile Landing Platform* » et qui devrait entrer en service opérationnel en 2015. Vaste plate-forme flottante de 253 mètres, ce navire de 80 000 tonnes en pleine charge permet de stocker du carburant, des hélicoptères, tous types de véhicules terrestres, abrite des hovercrafts, et permet des transbordements en mer grâce à une passerelle mobile.

Ce concept apporte une option dans l'hypothèse d'un déni d'accès à l'espace aéroportuaire de déplacer de la terre ferme à la mer l'essentiel des flux logistiques nécessaires à une OPEX.

B.– Avantages

L'étude n'a pas vocation à soutenir la pertinence du concept de *Sea Basing* dans l'absolu (par exemple être protégé de contingences politiques lors de l'installation d'une base dans les eaux internationales, intérêt d'un pré-positionnement, voies d'acheminement vers la base en mer plus facilement sécurisées etc.). Mais elle souligne ses apports en matière d'optimisation des usages énergétiques lors d'une OPEX dans sa globalité.

Sur ce thème, le concept semble avoir un potentiel, non sans importantes restrictions.

Dans le cas de camps terrestres à proximité du littoral, il est tout à fait envisageable d'alimenter ces derniers en électricité et en carburant à partir de la mer, via des câbles et

¹⁸ U.S. Navy, VISION | PRESENCE | POWER 2004, A Program Guide to the U.S. Navy, 2003, 186 p., disponible à l'adresse : <http://www.navy.mil/navydata/policy/vision/vis04/top-v04.html> – Voir aussi la présentation officielle du concept en 2002 par l'Amiral Vern Clark : <http://www.navy.mil/navydata/cno/proceedings.html>

¹⁹ Lenôtre Nicole, « Pour une gestion dynamique du littoral », *Annales des Mines – Responsabilité et environnement*, n° 56, 2009/4, pp. 80-88. Les chiffres oscillent entre 50 et 80 % de la population mondiale habitant à moins de 100 km des côtes.

canalisations souples immergées. Les capacités de production d'électricité des navires devraient suffire à alimenter des camps types²⁰ (des bases de 300 à 600 hommes mobilisent un potentiel généralement inférieur à 600 kW, et environ 1 400 kW pour 1 200 hommes). Des navires civils pourraient être utilisés à cet usage, ou contenir de gros groupes électrogènes.

Une base en mer peut aussi être le point d'accès logistique d'une base d'entrée sur un théâtre pouvant accueillir des avions. Si une connexion sous-marine est possible entre les deux dispositifs pour l'approvisionnement en carburant (malgré des contraintes techniques et environnementales), un des principaux points de vulnérabilité d'une force en opération serait atténué : l'autonomie énergétique. Une base en mer pourrait être alimentée par des tankers avec un double avantage. La vulnérabilité de bateaux stationnés à quelques kilomètres du littoral pourrait être moindre que les convois logistiques de surface, et le coût du carburant devrait être plus intéressant (mais pas forcément inférieur aux contrats d'approvisionnement par voie terrestre que le SEA négocie habituellement).

De plus, le stockage du carburant se ferait pour l'essentiel en mer, ce qui limiterait également la vulnérabilité de la base d'entrée.

C.- Inconvénients

L'intérêt théorique du concept de *Sea Basing* pour le sujet de l'étude est limité par plusieurs considérations opérationnelles et environnementales :

- ⇒ Arrimage des bateaux ou de la base en mer ;
- ⇒ Risque environnemental important en cas de tension sur l'oléoduc souple ;
- ⇒ Sécurisation d'autant plus difficile du périmètre que la base est éloignée du littoral ;
- ⇒ L'intérêt est avant tout de limiter le nombre de convois pour la logistique carburant, et donc leur exposition. Le prix du carburant livré par la mer ne sera pas forcément plus compétitif que celui livré par voies terrestres. Car une fois que le SEA a mis en place son réseau d'approvisionnement des forces en carburant, le coût au litre a toujours été extrêmement compétitif (parfois inférieur à celui pratiqué en Métropole lors des récents engagements au Tchad ou au Mali par exemple) ;
- ⇒ le coût global de la mise en place du concept, dans un contexte économique dégradé, en général et pour le ministère de la Défense.

²⁰ Données provenant de la sélection de camps retenus pour l'ETO GENALT, 2012.

4.1.3 – Concept utilisation exclusive des matériels les plus modernes

A.– Présentation du concept

Il s'agit dans une logique privilégiant les économies d'énergie et de moindre pollution de ne plus utiliser les moteurs de technologies anciennes.

B.– Avantages

- ➔ Avantage du fait de la moindre pollution et consommation des matériels récents par rapport aux gammes anciennes (ex NH90/ PUMA...).

C.– Inconvénients

- ➔ Parc de matériels trop restreint pour pouvoir disposer d'une véritable liberté en matière de choix de ce type.
- ➔ Budgets trop limités pour accélérer la sortie de service de certains matériels anciens mais toujours performants lorsque l'on considère le système d'armes.
- ➔ Coût de développement spécifique très élevé (100 millions d'euros pour un moteur de camion ou de voiture).

4.1.4 – Concept utilisation généralisée de moteurs mixtes thermiques/électriques pour les matériels terrestres

A.– Présentation du concept

En matière de motorisation, les matériels militaires adoptent les technologies civiles dans la mesure où celles-ci sont matures. Actuellement cette maturité n'est pas démontrée.

De ce fait, ce concept dépend pour son adoption des développements à venir et s'inscrit vraisemblablement dans le moyen terme. Toutefois, les avantages et inconvénients apportés par un tel concept sont présentés dans l'étude.

B.– Avantages

- ➔ Avantage en termes de consommation de carburants :
 - ⇒ Économie de carburateurs ou carburants divers.
- ➔ Avantage en termes de disponibilité de l'alimentation électrique :
 - ⇒ Entretien de l'alimentation électrique de bord sans les inconvénients d'un moteur thermique en fonctionnement le véhicule étant en stationnement :
 - Pas de bruit donc discrétion,
 - Moindre signature thermique,
 - Batteries toujours en charge maximum, meilleure résistance au froid.
 - ⇒ Moindre usure du moteur thermique qui ne fonctionne que pour le mouvement.

C.– Inconvénients

- ➔ Technologie non encore suffisamment mature pour un matériel de guerre.
- ➔ Bilan environnemental peu probant pour un véhicule de guerre. L'économie de carburant sur un hypothétique char hybride pourrait être annulée par le poids des batteries et l'empreinte environnementale de leurs composants (métaux lourds, etc.).

4.1.5 – Concept de dépollution progressive des zones contrôlées

A.– Présentation du concept

Il s'agit de « nettoyer » systématiquement les zones ayant fait l'objet d'entraînements ou de combats de manière progressive, sans attendre le désengagement.

B.– Avantages

- ➔ Progressivité de l'effort de nettoyage.
- ➔ Suppression du danger occasionné par les munitions non explosées ou les débris dangereux en particulier pour les enfants...
- ➔ Meilleure image de marque de la force.
- ➔ Récupération de métaux rares (« certaines munitions »).
- ➔ Préservation de l'environnement.

C.– Inconvénients

- ➔ Dispersion de moyens pour une mission secondaire par rapport au combat.
- ➔ Coût du ramassage.

4.1.6 – Concept gestion de l'eau par production locale et recyclage

A.– Présentation du concept

Il s'agit de réduire les contingences liées à l'approvisionnement en eau de la force et de lui apporter un meilleur confort dans le domaine de la consommation.

B.– Avantages

- ➔ Mise en bouteille locale d'eau potable.
- ➔ Contrôle permanent de la qualité de l'eau.
- ➔ Multiples actions sur la demande. Par exemple le recyclage de l'eau dans les douches²¹ permettant de se doucher très confortablement avec une vingtaine de litres d'eau en utilisant éventuellement la technique de brumisation.
- ➔ Amélioration des capacités locales après le départ de la force.
- ➔ Économies financières après amortissement.

C.– Inconvénients

- ➔ Investissement de départ.
- ➔ Enjeu de la certification de la qualité de l'eau (en matière d'approvisionnement des troupes en eau potable à partir de sources locales).

²¹ Une douche traditionnelle sans précaution particulière entraîne la consommation d'environ 100 l d'eau.

4.1.7 – Concept de production rationalisée d'électricité

A.– Présentation du concept

Pour les plus grandes bases, il s'agit de créer des centres de production d'électricité constitués de groupes électrogènes de très forte puissance en lieu et place des parcs hétérogènes regroupant des groupes électrogènes de petites et moyennes puissances immobilisés pour de très longues durées.

Ces centres intégrés aux zones de stationnement, réalisés à partir de moyens lourds, à mobilité réduite, constitueraient une solution permettant de garantir efficacité et propreté dans la durée. Ces unités de type groupes électrogènes pourraient être couplées à des unités de type solaire ou éolien en fonction des régions d'implantation, et de manière plus décentralisée (déconnectées du réseau principal).

B.– Avantages

- ➔ Meilleure efficacité.
- ➔ Économie d'énergie.
- ➔ Gestion plus facile.
- ➔ Moindre pollution (et/ou plus facile à prévenir et à contrôler).
- ➔ Libération de groupes électrogènes plus mobiles pour des actions imposant la mobilité.
- ➔ Économies financières après amortissement.

C.– Inconvénients

- ➔ Investissement de départ.
- ➔ Rentabilité dans la durée.

4.1.8 – Concept de généralisation des chargeurs de piles et batteries

A.– Présentation du concept

Il s'agit de doter tous les systèmes et sous-systèmes électriques alimentés par piles de chargeurs intégrés ou d'un chargeur universel (solution testée par l'armée américaine en Afghanistan).

B.– Avantages

- ➔ Diminuer le flux de la logistique « piles et accus ».
- ➔ Économie dans la durée.
- ➔ Gestion plus facile.
- ➔ Moindre pollution.
- ➔ Économies financières après amortissement des batteries.

C.– Inconvénients

- ➔ Investissement de départ.
- ➔ Intégration des chargeurs.
- ➔ Ne doit pas masquer l'objectif de diminuer la masse d'accus qu'un soldat peut être amené à porter.

4.1.9 – Concept de traitement des eaux de consommation humaines usées en eaux techniques

A.– Présentation du concept

Il s'agit de créer des centres de transformation des eaux dédiées à la consommation humaine évaluées à 80litres /H /J en eaux techniques évaluées à 70litres /H/J

B.– Avantages

- ➔ Meilleure autonomie de la force.
- ➔ Économie d'eau.
- ➔ Gestion plus facile.
- ➔ Économies financières après amortissement.

C.– Inconvénients

- ➔ Investissement de départ.

4.1.10 – Synergie interministérielle susceptible d'ouvrir des perspectives d'optimisation des ressources des forces en opérations

Dans le cadre des OPEX, l'engagement du ministère de la Défense est conduit essentiellement sous l'angle des opérations et s'inscrit dans l'urgence et la courte durée. L'expérience montre que très souvent les forces s'implantent pour de longues durées et que nombreux sont les ministères qui, d'une manière ou d'une autre, à un moment ou à un autre, sont amenés à travailler localement sur le sujet.

D'une manière chronologique, on notera l'intérêt pour la zone affiché dès avant l'OPEX par le ministère des Affaires étrangères par essence et par l'AFD, par le ministère de la Santé pour les pays défavorisés d'un point de vue sanitaire, etc.

Par ailleurs après les phases initiales de l'engagement, des actions civilo-militaires (ACM) sont souvent décidées pour aider à la reconstruction du pays concerné et par le rétablissement d'un État de droit.

De manière aléatoire, durant la phase de stationnement des forces, des interactions vont ainsi se développer entre les forces et les représentants des divers ministères. Le ministère de la Défense pourrait-il bénéficier d'un plan d'ensemble de coordination des actions lors des trois phases d'une crise : crise, post-crise immédiat, et reconstruction / développement ?

Il est évident qu'aujourd'hui dans une logique marquée par les économies et dans un contexte d'utilisation des moyens modernes de communication et de partage de l'information, le développement d'une politique générale de coopération interministérielle peut

conduire à des synergies vertueuses d'un point de vue de la rationalité de l'engagement et du développement durable.

Dans ce cas, pourquoi ne pas anticiper les actions civilo-militaires dès le début d'un engagement et donc dès la planification à froid ?

Sans suggérer la création d'une plate-forme institutionnelle qui pourrait être compliquée à mettre en mouvement dans un contexte d'urgence, on peut donc penser que la réunion d'un comité OPEX regroupant dès le déclenchement de l'OPEX des représentants de différents ministères pourrait constituer les prémices d'une action coordonnée avanta-geuse pour la France, voire pour l'Europe.

Une telle coordination permettrait de répartir la charge financière de l'engagement, de dimensionner plus justement certaines installations dédiées à la maintenance et à la vie sur la zone, d'éviter les doublons.

4.1.11 – Concept de structures de stockage de carburant rapidement déployables pour le ravitaillement d'une flotte d'avions

A.– Présentation du concept

Pour éviter qu'une partie notable de la capacité de transport des avions gros porteurs soit obérée par le transport du carburant nécessaire à la consommation sur zone pour effectuer les « sauts de puce » entre la zone de débarquement et la zone de ravitaillement de l'appareil, il est proposé de mettre en service au plus tôt des zones de ravitaillement opératives (centrales par rapport à la zone d'opération). Il s'agit de créer des sites permettant de stocker de grosses quantités de carburant apportées par avion ou par des convois routiers ou par tout autre moyen *ad hoc*. La nature de la protection et du moyen de ravitaillement de la zone sera fonction de la menace.

Ce concept a été partiellement mis en œuvre durant l'opération Serval lorsque certains aéroports ont été équipés avec des moyens de stockage modulaires souples permettant le ravitaillement massif d'appareils en complément des structures de stockage de l'aéroport. S'appuyant sur cette expérience, il peut s'avérer pertinent d'accélérer l'acquisition des structures modulaires dont la mise en place puisse être menée rapidement et dans une certaine discrétion soit préventivement soit dès le début d'une opération.

Les structures les plus adaptées pourraient être constituées par des modules cuves/réservoirs verticaux de type réservoirs aériens modulaires (RAM) de 500 m³ par exemple dont la mise en place aisée puisse être réalisée de préférence sur des terrains dont la force a le contrôle dès le début de la crise.

B.– Avantages

- ➔ Meilleure efficacité générale.
- ➔ Meilleure efficacité des gros porteurs dès leur départ de Métropole.
- ➔ Économie d'énergie comparée aux pratiques actuelles lors de l'aide au déploiement.
- ➔ Gestion plus facile.
- ➔ Moindre pollution.
- ➔ Libération de gros porteurs.

C.– Inconvénients

- ➔ Difficulté de ravitailler et sécuriser de telles zones si elles sont difficiles d'accès par voie terrestre.

4.2 – Démarches et principes d'action mobilisables

Cette sous-partie rassemble les principes, démarches et actions qui peuvent être systématisés pour contribuer à améliorer l'usage d'énergie en opération extérieure.

Car des optimisations significatives des consommations énergétiques peuvent être atteintes par des changements de comportements, de compréhension des enjeux, et de la manière de les prendre en compte.

4.2.1 – Réemploi des matériels, infrastructures et consommables

Parmi les principes d'action pouvant contribuer à diluer le coût logistique (coût financier et coût énergétique), prévoir un réemploi aussi souvent que possible des matériels et infrastructures pourrait être recherché, de manière immédiate ou dans la durée.

Ce principe trouve des déclinaisons variées. Compte tenu de l'importance de l'eau dans la logistique (que ce soit par un transport direct, ou indirectement par sa production sur place qui nécessite du combustible), toutes formes de recyclage de l'eau, d'économie de son usage, pourraient être privilégiées. La douche des personnels illustre ce double axe. Outre des systèmes de brumisation inclus dans les douchettes (économie d'eau), un système de recyclage au bout de quelques minutes ou litres pourrait être actionné. Si l'eau de lavage est perdue (ou dédiée à un autre usage non sanitaire), les volumes suivants fonctionneraient en circuit fermés. Cela permettrait, tout en augmentant le bien-être potentiel du personnel projeté (douche plus longue), d'économiser de l'eau.

4.2.2 – Formation, avancement, sensibilisation : favoriser les pratiques vertueuses en matière d'énergie et d'environnement pour réduire les demandes

Le levier de la formation des personnels est sans doute le plus important, et peut être actionné à court terme, pour développer les vertus de l'économie et du respect de l'environnement, avec des effets dès sa mise en œuvre, ou à moyen terme tout au plus.

Le premier d'entre eux est l'intégration de considérations énergétiques et environnementales dès la formation des militaires du rang (utilisateurs des moyens militaires) et des cadres. Cette mission incombe, en premier lieu, aux écoles de formations mais pour maintenir les bonnes habitudes il convient d'impliquer toutes les unités. Les questions environnementales ont par ailleurs déjà fait l'objet de travaux de groupes au sein du CHEM, auprès des auditeurs de la session nationale de l'IHEDN, ou encore de l'ex-CID (redevenu Collège de Guerre).

Les moyens d'encourager une meilleure prise en compte au sein des forces engagées sur des théâtres extérieurs des facteurs énergétiques et environnementaux sont multiples. Il peut s'agir d'intégrer des indicateurs environnementaux (consommation en énergie, en eau douce, pollution des sites, etc.) parmi les facteurs d'évaluation de missions et projections.

De la même manière, le respect de critères environnementaux et énergétiques pourrait être pris en compte comme critère complémentaire lors de l'évaluation annuelle.

Ainsi, la maîtrise de la consommation énergétique d'une force est un enjeu tout autant technologique qu'éducatif. Ces deux dimensions apparaissent difficilement dissociables, y compris en opération extérieure. Le changement comportemental nécessitera du temps, et pourra nécessiter des collaborations avec des institutions civiles. Car ce n'est pas seulement changer le comportement du soldat qu'il faut viser, mais plus profondément les modes ordinaires de consommation des individus.

4.2.3 – Modes d'exploitation des matériels (hors véhicules de combat)

Concernant les matériels, leurs modes d'exploitation devraient pouvoir correspondre à l'usage énergétique le plus efficace. Il s'agit de rompre avec les anciennes habitudes qui consistaient par exemple « à faire chauffer les moteurs » et plus généralement à ne pas chercher à prendre en compte, pour l'utilisation des équipements en dotation, les modes les plus économiques en énergie. L'ETO GENALT illustre une optimisation énergétique (production d'électricité à partir de groupes électrogènes couplés à des batteries) à partir d'un nouveau mode d'exploitation de matériels existants. 10 à 20 % de carburant pourraient ainsi être économisés dans la seule phase de production d'électricité en OPEX, selon les conditions climatiques des théâtres.

5 – Recommandations

5.1 – *Synthèse et recommandations à court terme (1 à 3 ans)*

5.1.1 – Amélioration des connaissances

Recommandation 1 – Besoin d'études amont sur les usages énergétiques en OPEX.

Le programme P 144 est conçu pour financer, entre autres, des projets de réalisation de démonstrateur de système d'armes. L'autonomie des forces en opérations est un sujet par nature transverse, bien que l'aide au déploiement des forces ainsi que l'énergie soient traitées au sein du système de forces « projection – mobilité – soutien ».

Force est de constater que trop peu d'investissements sont consentis pour effectuer des développements relatifs à ces capacités opérationnelles. Pour progresser dans la connaissance des besoins des forces en autonomie énergétique, il serait vivement souhaitable de réaliser un développement spécifique. À partir d'un modèle d'une force déployée (base aérienne opérationnelle, base logistique, *forward operationnel base*), ce programme d'études amont aurait pour ambition d'évaluer, dans la durée, les besoins énergétiques de cette force, d'examiner les solutions techniques permettant de répondre à ces besoins.

Ces travaux pourraient s'articuler en différentes phases :

- ⇒ une phase utilisant les technologies de simulations pour évaluer les performances des systèmes fournissant l'énergie, l'eau potable, le traitement des déchets...
- ⇒ une phase de réalisation d'un prototype global. Cette phase permettrait d'évaluer les rendements, les contraintes de mise en œuvre, de fonctionnement, d'entretien ;
- ⇒ une phase d'expérimentation du système le plus efficace. Cette expérimentation pouvant être conduite dans un camp d'entraînement national.

À ce démonstrateur, toutes les sociétés innovantes, certifiées par la DGA, pourraient avoir accès afin d'installer leurs nouveaux systèmes. Ces nouveaux systèmes de fourniture d'énergie seraient alors évalués en grandeur réelle sur les structures d'infrastructure proches de celles déployées en opérations. Un système analogue a été initié en Allemagne.

Grâce au programme *Off-shore Patrol Vessel (OPV) L'Adroit*, la Marine nationale bénéficie aujourd'hui de ce principe ouvert aux entreprises ; il s'agit maintenant d'utiliser ce procédé à la production et à la distribution d'énergie sur une base opérationnelle terrestre.

Recommandation 2 – Améliorer la connaissance des besoins en énergie, en eau et relative au traitement des déchets.

À défaut de la création du **camp d'expérimentation « stationnement des forces en OPEX »**, ou dans l'attente de sa mise en place, il s'agit de connaître avec plus de précision les besoins en énergie et en eau ainsi que la production de déchets en opérations et en métropole. Pour cela, il est recommandé de poursuivre les recensements et d'analyser ces données pour dimensionner les moyens à mettre en œuvre.

Recommandation 3 – Capitaliser à partir des expériences acquises du ministère de la Défense en matière de consommation énergétique.

Hormis les agents de la DGA travaillant sur l'environnement, les acteurs du ministère de la Défense travaillant sur des thèmes ayant des conséquences sur les consommations énergétiques ne sont pas formellement en réseau (EMA, EMAT, EMM, DGA, DAS, le Génie, SID – CETID, ex STBFT, SSA, STAT, CMT, CICLO, SEA, Bureau Environnement de la DMPA, CICDE). Ils sont en relation entre eux par des cercles restreints à des compétences ou des fonctions (par exemple le triptyque Génie/SID/SSA pour l'eau potable produite en OPEX). Cette séparation fonctionnelle par corps distincts est accentuée par la courte durée de vie en poste (turn-over) et l'absence de capitalisation en OPEX au sein du ministère sur les questions environnementales et énergétiques, et dans une moindre mesure en Métropole.

Pour des raisons distinctes et complémentaires illustrées en introduction (opérationnelles, budgétaires, environnementales et stratégiques), les initiatives d'optimisation des ressources énergétiques gagneraient à être centralisées pour faire apparaître leurs effets cumulatifs, et pour valoriser et systématiser les plus intéressantes d'entre elles.

5.1.2 – Prise en compte d'une dimension « Ressources » dans la planification des engagements

Recommandation 4 – La connaissance des ressources en eaux de surface et souterraines

va permettre de retenir les lieux de déploiements les plus opportuns. Il convient de poursuivre la réalisation des dossiers « eau » de l'ensemble des zones de l'arc de crise. Dans le même but, le SID pourrait être associé systématiquement aux travaux de planification des engagements extérieurs.

Recommandation 5 – La manœuvre des flux en carburants est décisive en matière d'optimisation énergétique des forces en opérations. Il semble donc indispensable d'associer au plus tôt le SEA à la préparation et à la planification du déploiement des forces. Le pré-positionnement, l'acheminement et le stockage du carburant doivent être étudiés avec précision en planification à froid pour servir de données d'entrée à un déploiement opérationnel.

Recommandation 6 – Optimiser la logistique stratégique.

Le pré-positionnement des forces par voie maritime avant le début des opérations pourrait permettre de réduire la facture énergétique des projections. Dans le cas du théâtre malien, la projection par voie maritime en avance de phase sur le déclenchement des opérations aurait sans doute permis des économies.

La projection par voie ferrée demeure la plus économique et doit être privilégiée dès lors qu'elle est possible.

La poursuite des travaux sur le concept de *Sea basing* s'avère intéressant pour sa dimension « fourniture d'énergie ».

Au regard de la densité de la logistique stratégique nécessaire à Serval, l'intérêt de gros dirigeables, qui pourraient avoir une capacité d'emport jusqu'à 250 tonnes et une consommation 6 à 10 fois inférieures à celle d'un gros porteur, nécessite un réexamen.

Recommandation 7 – Conduire des études technico-opérationnelles sur les besoins en mobilité intra-théâtre.

La capacité de transport aérien opératif par hélicoptères de transport lourd présente des avantages de souplesse et de sécurité. Les élongations entre les bases maritimes et le lieu des engagements auraient pu être couvertes par des hélicoptères de transport lourd. Enfin les moyens de livraison par air sont à réétudier ; le théâtre malien autorisait le largage de moyens logistiques. Les moyens nationaux de livraison par air sont largement insuffisants et ne permettent pas de couvrir les besoins opératifs cohérents.

Dans cette optique intra-théâtre, l'usage de dirigeables pilotés à distance pourrait également avoir de multiples avantages opérationnels (dépose verticale, vitesse constante de 150 à 200 km/h, à comparer à la vitesse moyenne des convois logistiques au Mali, de jour et de nuit...). L'étude des bénéfices et inconvénients de ce type de vecteur pour un usage militaire s'avère pertinente.

5.1.3 – Le stationnement

Recommandation 8 – Établir des seuils clairs de rentabilité dans le temps de constructions durcies, d'actions d'isolation ou de réhabilitation de bâtiments existants mis à disposition du pays hôte, en fonction des milieux climatiques et des coûts de la logistique à partir de l'expérience d'opérations extérieures récentes.

5.1.4 – Le matériel

Recommandation 9 – Pour les véhicules terrestres :

- Poursuivre les efforts de réduction de la masse des nouveaux véhicules.
- Maintenir une veille technologique dans les nouvelles technologies de propulsion : moteur électrique mais surtout les moteurs hybrides.
- Maintenir le soutien à la recherche publique sur les nouvelles sources d'énergie embarquée (par exemple au CEA sur la pile à hydrogène, sa production, et le stockage).

5.1.5 – Évolutions des pratiques : Usagers, Processus et Institutions

Recommandation 10 – Concevoir un programme d'enseignement des bonnes pratiques énergétiques.

La sensibilisation des personnels de la Défense aux enjeux de l'optimisation des usages énergétiques pourrait être intégrée à court terme aux différentes formations militaires (formation initiale, écoles d'application, centres spécialisés, enseignement militaire supérieur...). Une approche par grandes fonctions consommatrices d'énergie (logistique eau et carburant, logistique globale, production d'électricité) permettrait de donner une vision d'ensemble de ces problématiques, de leur complémentarité, au-delà des compétences propres aux principaux corps et services du ministère de la Défense.

L'enseignement de comportements moins utilisateurs de consommables en général aura à moyen terme un impact énergétique et financier sur les activités du ministère, en Métropole et en opérations extérieures.

Recommandation 11 – Assurer la cohérence des actions de chaque composante et service ayant des incidences sur les consommations d'énergie.

La création du poste de JCE (*Joint Chief Engineer*) par l'EMA en 2008 a marqué un pas important vers la mise en cohérence des moyens en opération pour chaque grande fonction (dont par exemple l'infrastructure, la protection de l'environnement...).

Située au niveau stratégique, le JCE a une déclinaison au niveau opératif (le *Joint Force Engineer*), ce qui permet la prise en compte de ces grands domaines d'intervention tout au long de la chaîne de commandement.

À l'image de cette rationalisation des fonctions, la dimension transverse des enjeux énergétiques, en y incluant la logistique, pourrait être mise en exergue. Cela permettrait de souligner des voies d'économie d'échelle au cours d'une opération, et contribuerait à l'aide à la décision par un critère énergétique.

5.2 – Synthèse et recommandations à moyen terme (5 à 10 ans)

5.2.1 – Amélioration des connaissances

Recommandation 12 – Créer un camp d'expérimentation « stationnement des forces en OPEX ».

Découlant de la recommandation n°1, et afin de tester dans des conditions les plus proches de la réalité les structures et équipements proposés par les industriels pour satisfaire les besoins exprimés dans le cadre du stationnement des forces en opérations, un espace d'exposition pour les industriels concernés pourrait être mis en place. Cet espace situé dans un grand camp (camp de Canjuers par exemple), permettrait :

- ➔ de tester « grandeur nature » au niveau d'une unité élémentaire les produits existant sur le marché et d'effectuer *in situ* des comparaisons. L'unité élémentaire utilisant les locaux durant quelques semaines comme casernement durant ses manœuvres ;
- ➔ de servir de laboratoire pour valider les nouveaux concepts et faciliter l'expression des besoins futurs ;
- ➔ d'habituer les combattants à développer des réflexes dans leur futur espace de vie.

Recommandation 13 – Fourniture d'énergie depuis la mer pour alimenter les déploiements de forces en zones littorales.

Les travaux menés dans l'industrie tels que :

- ⇒ les hydroliennes (turbines sous-marines) transforment l'énergie des courants marins en électricité ;
- ⇒ le principe de l'énergie thermique des mers consiste à utiliser la différence de température entre l'eau de surface et l'eau en profondeur ;
- ⇒ les éoliennes flottantes ;
- ⇒ les centrales nucléaires flottantes ou immergées ;

méritent d'être soutenus par le ministère de la Défense.

Recommandation 14 – Mise en perspective des efforts d’optimisation de l’énergie en opérations extérieures et sur le territoire national.

L’effort d’optimisation de l’énergie (production/consommation) en opérations extérieures ne prend véritablement sens que dans le cadre d’une démarche globale qui inclut l’ensemble du ministère de la Défense. Si l’empreinte énergétique d’un homme projeté sur un théâtre extérieur est plusieurs fois supérieure à celle des militaires stationnés sur les territoires français, la pertinence de cette comparaison est amoindrie par le faible volume (quelques milliers d’hommes) des troupes présentes en opérations extérieures.

De ce fait, l’effort à consentir pour optimiser les consommations énergétiques en opérations extérieures doit être mis en balance avec les nombreux leviers de réduction des consommations énergétiques au sein du ministère de la Défense²², une fois que les principaux leviers de consommation d’énergie en OPEX auront été optimisés (principalement la logistique).

Dans l’optique d’une économie de moyens, cet argument perd de sa substance par le fait que les opérations extérieures sont financées par des lignes budgétaires distinctes et additionnelles à celles du ministère de la Défense. Diminuer l’usage d’hydrocarbures sur un théâtre permettra de libérer des financements sur d’autres postes, ce qui aura très probablement un intérêt opérationnel.

En revanche, l’intérêt environnemental de cette mise en perspective demeure, même si les opérations extérieures ne sont pas (pour l’instant) comptabilisées dans le bilan Carbone du ministère de la Défense.

Recommandation 15 – Mesurer l’efficacité et le coût des transports intra-théâtre en fonction du type de vecteurs utilisés.

Afin de mesurer la vulnérabilité des flux logistiques intra-théâtre en fonction du type de vecteurs utilisés, il serait souhaitable de conduire un travail de simulation. L’outil Janus pourrait répondre au besoin de connaître cette vulnérabilité.

Afin de mesurer l’efficacité et le coût des transports intra-théâtre en fonction du type de vecteurs utilisés (véhicules, hélicoptères, avions tactiques, dirigeables...), il serait également souhaitable de faire appel à la simulation. Le Centre d’Analyse Technico-Opérationnel disposant d’un laboratoire spécialisé (le LTO) pourrait faire l’étude comparative dans l’utilisation des différents vecteurs.

Ces deux études pourraient se faire sur les théâtres afghan et malien pour lesquels le ministère de la Défense dispose de renseignements de terrain très récents et très précis.

²² Cf. Alexandre Taithe, « Impacts des régulations des gaz à effet de serre à l’horizon 2050 », Paris, Coll. *Recherches et Documents*, septembre 2010, 100 p. + annexes.

5.2.2 – Le stationnement

Recommandation 16 – Mettre en place des zones de stationnement construites pour durer : des avantages multiples.

Édifier les zones de stationnement dédiées à l'hébergement des forces en OPEX en dur, dans une double perspective :

- ⇒ Court et moyen termes au profit des forces engagées dans le cadre de l'OPEX ;
- ⇒ Long terme au profit du pays hôte dans le cadre de sa politique d'urbanisation en respectant le plan d'occupation des sols de la région concernée.

Cette double logique devrait permettre d'engager un dialogue gagnant-gagnant apaisé avec les autorités du pays hôte facilitant la mise à disposition au plus tôt dans le déroulement de l'OPEX, d'installations en dur privilégiant :

- ⇒ une meilleure protection aux combattants durant leur stationnement (protection contre les munitions légères et les éclats grâce à des toits et des murs en matériaux durs et adaptés ;
- ⇒ les critères du développement durable (économies d'énergie par l'isolement facilité par des constructions réalisées pour durer, création d'énergie verte, de récupération d'eau... etc.) ;
- ⇒ un meilleur confort et une hygiène plus rigoureuse, le campement n'étant plus la règle mais étant réservé aux actions de courte durée en cours d'OPEX ;
- ⇒ une meilleure acceptation par le pays hôte facilitant probablement l'obtention au profit de la force de zones plus pratiques, plus intégrées à l'agglomération locale concernée.

5.2.3 – Le matériel

Recommandation 17 – Compatibilité des moteurs actuels et futurs avec un carburant unique en OPEX.

Agir sur la logistique carburant constitue l'un des leviers de la réduction de l'empreinte énergétique d'une opération extérieure. Sa simplification est l'un des axes possibles. On constate en effet que des matériels récents, à l'image de certains drones déployés au Mali, utilisent un carburant spécifique (F-18), nécessitant une logistique dédiée depuis la Métropole.

À moyen terme, un premier objectif possible consisterait à limiter le développement, voire l'emploi, de matériels nécessitant des carburants dédiés.

La question peut être étendue au carburant « marine », qui nécessite un filtrage amélioré des impuretés pour permettre le fonctionnement optimal des turbines dont sont équipés les bateaux. Le carburant « marine » fait ainsi l'objet de commandes spécifiques pour de gros volumes (pour intéresser les industriels) qui sont ensuite stockés. En plus du surcoût en comparaison d'un diesel ordinaire (3 à 5 % plus élevés), un système de filtrage embarqué et des jeux de filtres pourraient suffire au bon fonctionnement des navires.

Toujours à moyen terme pourrait être recherchée et négociée une certification simplifiée (à coût moindre) des avions pour l'utilisation de bio-carburants, voire de CTL et GTL

(charbon et gaz liquéfiés). Non pas que l'usage de biocarburants soit un objectif prioritaire en opérations extérieures (teneur énergétique moindre), mais cette certification permettrait d'élargir la tolérance à l'utilisation de moyens civils pour la production et la logistique du carburant, ce qui serait un facteur de simplification. Ce sont en effet généralement les mêmes chaînes qui produisent les différents types de carburant, et des traces de biocarburants peuvent par exemple être décelées dans du carburéacteur.

Au final, la rationalisation de la manœuvre carburant serait facilitée par le rapprochement des carburants utilisés par les armées avec les standards civils.

5.2.4 – Évolutions des pratiques : Usagers, Processus et Institutions

Recommandation 18 – Apprendre et promouvoir les bons réflexes d'économie par action des RH.

Pour faciliter les petites économies (eau, combustibles, etc.) et accentuer le respect de la nature en opérations en généralisant les « bons réflexes », une action pourrait être lancée dans le cadre de la gestion des ressources humaines.

- ⇒ Action de formation spécifique dans les écoles de formation ;
- ⇒ Prise en compte de ces aspects dans le cadre de l'évaluation des personnels.

Recommandation 19 – Créer un comité OPEX interministériel pour préparer l'après-crise.

Dès la préparation d'une OPEX, il s'agirait d'examiner les perspectives ouvertes par l'évènement dans le long terme et dans une logique interministérielle.

Une implication interministérielle facilitera une action d'ensemble efficace basée sur des effets de synergie impliquant plusieurs ministères (et l'AFD) et permettant en particulier un partage des engagements financiers.

Pour éviter de partir d'une page blanche, et s'accrocher à un cadre existant, il peut être intéressant de présenter cette option comme une anticipation de l'action « civilo-militaire » souvent menée dans le cadre des OPEX ainsi que le montre l'expérience des vingt dernières années.

5.3 – **Synthèse et recommandations à long terme (30 ans)**

5.3.1 – Amélioration des connaissances

- Suivre, sur le long terme, l'évolution de la demande en énergie des stationnements tant en métropole qu'en opérations extérieures. Ces travaux permettront de couvrir, à terme, le juste besoin énergétique des forces en opérations grâce à un déploiement optimisé des moyens assurant l'autonomie énergétique des forces. Pour cela, il convient, sans surcharger les unités ni les détourner de leur mission majeure, de mettre en place les indicateurs utiles pour mieux connaître la demande énergétique des unités.
- Suivre, sur le long terme, les évolutions technologiques orientées vers la réduction des consommations en carburant et les sources alternatives. Pour cela, il est nécessaire de créer, au sein de la DGA, un observatoire des technologies civiles prometteuses et transposables pour des applications opérationnelles permettant de réduire la

consommation globale de carburant. De plus, la Défense doit se préparer, pour le long terme, à d'éventuelles ruptures technologiques.

5.3.2 – Nouveaux Matériels

Des concepts futuristes de transport d'énergie à grande distance existent et font appel aux technologies à effet dirigé. Il existe notamment le concept de transport d'énergie dirigée vers la Terre, depuis un satellite. Ce concept est basé sur l'utilisation en continu et en permanence de l'énergie solaire. Cette énergie est transformée à bord en énergie électrique destinée à alimenter des systèmes de concentration d'énergie et à effet dirigé vers la Terre. Un capteur adapté est positionné au sol pour recevoir, stocker et redistribuer l'énergie captée. Ce concept très innovant et très futuriste permettrait d'amener de l'énergie sur tout type de théâtre opérationnel et garantirait l'autonomie énergétique des forces déployées.

La Défense n'a pas la capacité financière à conduire seule de tel projet mais elle pourrait s'y intéresser dans le cadre du plan prospectif à 30 ans.

5.3.3 – Le stationnement

L'étude montre que les réductions des besoins énergétiques des forces proviennent en grande partie des gains possibles en phase de stationnement. Des nouveaux matériaux de construction, des nouvelles pratiques de consommations énergétiques, des nouveaux concepts d'infrastructures de stationnement sont à l'étude et méritent un suivi à long terme par la Défense. Il serait sans doute opportun qu'un observatoire au sein du SID suive ces avancées et détermine l'intérêt de ceux-ci pour des déploiements de forces en opérations pour en faire une analyse de leur valeur.

5.3.4 – Évolutions des pratiques : usagers, processus et institutions

Comme évoqué dans le § 4.4.2, la maîtrise de la consommation énergétique d'une force est un enjeu tout autant technologique que comportemental, ces deux dimensions apparaissant difficilement dissociables, y compris en opérations extérieures. L'institution militaire ne devra pas seulement accompagner, mais être partie prenante en interne de la transformation des comportements nécessaires à une optimisation très significative des ressources énergétiques à long terme, en opérations extérieures et en Métropole. Cela pourrait conduire à des changements organisationnels internes au ministère de la Défense.

Recommandation 20 – Analyser le besoin pour les armées d'une autorité interarmées d'emploi des énergies pour le soutien des forces en opérations.

La centralisation, la capitalisation et la valorisation de toutes les informations relatives aux usages consommateurs d'énergie au sein d'un service dédié du ministère (cf. recommandation n° 3) faciliteraient la compréhension et la prise en compte de la sécurité énergétique militaire malgré la complexité de ce thème. Cette intégration à un haut niveau opérationnel de la fonction énergie pourrait prendre la forme d'une autorité interarmées d'emploi des énergies pour le soutien des forces en opérations.

Grâce à une vision opérationnelle au plus haut niveau de la chaîne Énergie dans son intégralité, en y incluant les aspects logistiques, les leviers d'optimisation des usages de l'énergie sur un théâtre particulier pourraient être mieux anticipés, et détectés plus rapidement au cours même d'une opération. Cette autorité interarmées pourrait également

intervenir dès la phase de conception des systèmes d'armes. Par exemple, les implications en matière logistique, opérationnelle et financière du choix de tel ou tel carburant pour un nouveau matériel pourraient être rappelées dès la conception de ce dernier.

Dans un contexte durable d'austérité budgétaire général et pour les armées, des gains financiers sur les postes consommateurs d'énergie donneront autant de marges de manœuvre supplémentaires pour d'autres actions, et pourront devenir des gains opérationnels.

Cette autorité interarmées d'emploi des énergies pour le soutien des forces en opérations pourrait amorcer un changement culturel, en faisant le lien entre les pratiques de consommation d'énergie des soldats sur le territoire national et en opérations extérieures. L'efficacité et l'économie en matière énergétique commencent en effet « à la maison », comme le souligne le *Nato Energy Security Center of Excellence* dans ses publications²³.

²³ Voir notamment, parmi les revues du centre Ensec, *Energy Security Highlights* et *Energy Security Forum*.

Bibliographie

Ouvrages et Monographies :

- AFNOR, *Gaz à effet de serre*, Coll. Recueil – Normes & Réglementations – Environnement et développement durable, 2007, 363 p.
- Aïchi Leila (dir.), *Livre vert de la Défense*, Sénat, Europe écologie les Verts, 2014, 117p.
- Chevre Louis-Marie, Dambrine Fabrice, *La politique énergétique du ministère de la Défense*, 2007
- COFELY INEO – GDF Suez, *Étude technico-opérationnelle Genalt « Générateurs électriques de terrain en opération »*, Rapport final, 11/10/2012, 50p. (voir également les rapports techniques et d'étape).
- Council on Foreign relations, *Confronting climate change: a strategy for U.S. foreign policy*, independent task force report n°61, 2008, 122 p.
- Conseil scientifique de la Défense, *rapport final du groupe de travail « Perspectives énergétiques, besoins des armées et nouvelles technologies »*, version du 31 août 2011, 27p.
- Cournil Christel, Colard-Fabregoule Catherine, *Changements climatiques et défis du droit*, Bruxelles, Bruylant, 2010, 450 p.
- Gauducheau Bernard, Fauquemberg Jean-Luc, Masset Jean-Luc (coord.), *Environnement et armement*, Centre des Hautes Etudes de l'Armement, 36^{ème} session 1999/2000, juin 2000, 51 p.
- Groupe de travail sur le charbon du Délégué interministériel au développement durable, *Charbon propre : mythe ou réalité ?*, Paris, MEEDDEM/Charbonnages de France, 2006, 116 p.
- Grisel Laurent, OSSET Philippe, *L'analyse du cycle de vie d'un produit ou d'un service*, AFNOR Editions, 2008, 357 p.
- Guillard David, *Les armes de guerre et l'environnement naturel. Essai d'étude juridique*, Paris, L'Harmattan, 2006.
- Ministère de la Défense, *Développement durable défense. Rapport d'activité 2012*, décembre 2013, 139 p.
- Ministère de la Défense, *Rapport développement durable du ministère de la Défense et des anciens combattants pour 2010*, septembre 2011, 101p.
- Ministère de la Défense, *Stratégie de développement durable de la Défense. Rapport d'activité 2011*, décembre 2012, 111p.
- Ministère de la Défense, *Directive 010991 DEF/SGA/DMPA/SDIE/ENV du 22 août 2011 « portant nouveau plan d'action Environnement du ministère de la Défense »*.
- Ministère de la Défense, *Rapport Développement Durable du ministère de la Défense 2008*, Paris, 2009, 78 p.
- Ministère de la Défense, *Plan d'action environnement du ministère de la Défense*, annexe à la lettre n°018503 du 21 décembre 2007, 2007, 9 p.
- Ministère de la Défense, *Le plan d'action environnement du ministère de la Défense*, DICOd, Dossier de presse, 27 novembre 2007
- Ministère de la Défense, *La culture du développement durable au ministère de la Défense*, DICOd, coll. Analyses et références, juin 2005, 29 p.
- Ministère de la Défense du Canada, *La stratégie de développement durable de la défense nationale : 4^{ème} version. Des activités de défense respectueuses de l'environnement*, 2006, 38 p.
- Ministry of Defence (UK), *Defence in a changing Climate*, 2010, 18 p. <http://www.mod.uk/NR/rdonlyres/378271EE-0F39-4DF2-8FBB-E56E42733AD6/0/DefenceinaChangingClimateFINAL.pdf>
- Ministry of Defence (UK), *MOD Climate change Strategy*, 2010, 22 p. <http://www.mod.uk/NR/rdonlyres/58799038-34D2-4A93-94C8-6BBF770B9EA0/0/MODClimateChangeStrategyFINAL.pdf>

- Ministry of Defence (UK), *MOD Climate change delivery plan*, 2010, 21 p.
- Nodal Consultant, La prise en compte de la dimension environnementale dans les programmes d'armement, Etude EPMES pour le CHEAr, janvier 2003, 96 p.
- Pew Charitable Trusts, *Reenergizing America's Defense*, The Pew project on national security, energy and climate, 2010, 23 p.
- Rouge Frédéric (pdt.), *Rapport du groupe de travail marine et pétrole*, État-major de la Marine, 2010, 31 p.
- Serfati Claude (éd.), *Une économie politique de la sécurité*, Paris, Karthala, 2009, 336 p.
- Paulin Cédric, *Aspects économiques de la prise en compte de l'environnement dans les programmes d'armement*, Fondation pour la recherche stratégique, Coll. Recherches & Documents, mars 2008, 88 p.
- Taithe Alexandre, « Impacts des régulations des gaz à effet de serre à l'horizon 2050 », Paris, Coll. *Recherches et Documents*, septembre 2010, 100 p. + annexes.
- U.S. Navy, *Vision / Presence / Power 2004. A Program Guide to the U.S. Navy*, 2003, 186p., disponible à l'adresse <http://www.navy.mil/navydata/policy/vision/vis04/top-v04.html>
- Valantin Jean-Michel, *Menaces climatiques sur l'ordre mondial*, Paris, Editions Lignes de repères, Diplomatie magazine, 2006, 158 p.
- Vallee Anne, *Économie de l'environnement*, Paris, éditions du Seuil, coll. Points Economie, 2002, 344 p.
- Van Lang Agathe, *Droit de l'environnement*, Paris, PUF, 2007 (2002 pour la 1^{ère} édition), 502 p.
- Vieillefosse Aurélie, *Le changement climatique*, Paris, la Documentation française, coll. Les Etudes, 2009, 180 p.
- Vivien Franck-Dominique, *Economie et écologie*, Paris, La découverte, coll. Repères, 1994, 124 p.
- WWF, *Climate solutions. WWF'solutions for 2050*, WWF, 2007, 96 p., <http://assets.panda.org/downloads/climatesolutionweb.pdf>
- Zahm Anne-Luce, *Développer les énergies renouvelables au sein des infrastructures du ministère de la Défense*, Ecole nationale des ponts et chaussées, thèse professionnelle dans le cadre du Mastère d'action publique, 2009, 199 p.

Articles

- Agreda (de) Angel Gomez, « Military Bases'Energy independence », *Energy Security Forum*, Nato Energy Security Center of Excellence, n°1 (7), juin 2013.
- Bailes Alyson JK, « Smart defence, energy security – and climate change », *Energy Security Forum*, Nato Energy Security Center of Excellence, vol. n°1 (4), march 2012.
- Barker Tom, « How relevant are today's energy efficiency technologies to deployed military bases? », *Energy Security: Operational Highlights*, n°2, 2013, pp. 12-15.
- Bastien Daniel, « L'US Air Force et la protection de l'environnement », *Penser les ailes françaises*, n°27, printemps 2012, pp. 80-94.
- Boussard Philippe (entretien), « Centre multimodal des transports : « Rubicks cube » de la logistique », *Soutien Logistique Défense*, n°7, printemps-été 2012, pp. 22-29.
- Boni Mickaël, Demoncheaux Jean-Paul, Giradet Caroline, Bornert Gilles, « Maîtrise de la qualité des eaux destinées à la consommation humaine en situation dégradée : expérience du Service de santé des armées françaises », *Bulletin de l'Académie Vétérinaire de France*, tome 162, n°1, 2009, pp. 13-20.
- Col Chauvancy François (dir.), *Sécurité énergétique militaire*, Étude réalisée dans le cadre du séminaire « Participation des forces armées à la sécurité énergétique », Travail collectif du groupe n°16 d'enseignement optionnel, CICDE, mars 2009, 31 p. + annexes.
- Coat Sylvain, « Les énergies renouvelables au service du soutien du soldat en opération », *Logistique opérationnelle*, n°10, automne-hiver 2013, pp. 36-37.

- Delaporte Murielle, « Montford Point ou la révolution silencieuse », *Soutien Logistique Défense*, n°9, printemps-été 2013, pp. 74-76.
- Delprat Sébastien, *Évaluation de stratégies de commande pour véhicules hybrides parallèles*, Thèse de doctorat, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, 167 p., Soutenue le 4 janvier 2002 – http://starp.free.fr/TIPE/ressources_tipe/Bo%Ete%20E0%20id%E9e/automobile/Voiture%20E9lectrique/th%E9se%20hybride.pdf
- Deni John R. « Energy self-sufficient military installations: rewards and obstacles », *Energy Security: Operational Highlights*, n°2, 2013, pp. 3-7.
- Dudait Kornelija, « Will smart defence embrace smart energy? », *Energy Security Highlights*, vol.1 (10), 2012, pp. 23-25.
- Foulon Cyrille, « La sécurité énergétique des opérations extérieures françaises : un enjeu opérationnel fort à maîtriser pour faire face à la dépendance pétrolière des forces engagées », *Theatrum belli*, publié en ligne, 16 février 2012, <http://www.theatrum-belli.com/archive/2012/02/16/la-securite-energetique-des-operations-exterieures-francaise.html>
- Franco Pau Solanilla, « Renewable energy for sustainable missions », *Energy Security Forum*, Nato Energy Security Center of Excellence, vol. 3, November 2011.
- Francou Thierry, « Ecologie et armement : deux mondes pas si différents », *CAIA*, n°86, juin 2008, pp. 36-37.
- Gabalda Thierry, « Le Ciclo : la « tour de contrôle » de soutien des théâtres », *Soutien Logistique Défense*, n°7, printemps-été 2012, pp. 30-33.
- Goubault Philippe, Garcia Jade, Thieffry Philippe, Chabert Christophe, « Le concept ECOSHIP, une illustration de la démarche d'éco-conception mise en place par DCNS dans les dernières années », *Revue maritime*, n°484, février 2009.
- Hernu Patrice, « Défense et environnement : une nouvelle manière de penser », *Cahiers de la sécurité*, INHES, n°5, juil.-Sept. 2008.
- Husson Jean-Pierre, « Camion-citerne hautement protégé pour ravitailler les FOB », *IHS*, 13 juin 2012, <http://www.ihs.com/events/exhibitions/eurosatory-2012/news/jun-13/french/Camion-citerne-hautement-protoge.aspx>
- Jacquement Jean-Luc, « Les défis d'une logistique de corps expéditionnaire », *Soutien Logistique Défense*, n°7, printemps-été 2012, pp. 54-61.
- Kanayama Rene D., « Energy self-sufficient military installations: wisdom or folly? », *Energy Security Forum*, Nato Energy Security Center of Excellence, n°1 (7), June 2013.
- Kersulis Vytautas, « Strategy options for installation of modern energy technologies into military bases », *Energy Security: Operational Highlights*, n°2, 2013, pp. 8-11.
- Mercier Denis (entretien), « L'activité au cœur du MCO aéronautique. L'entraînement différencié au cœur de l'activité », *Soutien Logistique Défense*, n°9, printemps-été 2013, pp. 7-14.
- Michaelis Susanne, « Smart energy at -capable logistician 2013- », *Energy Security: Operational Highlights*, n°3, 2013, pp. 4-9.
- Milcius Darius, Molis Arunas, « Application of renewable energy resources in military missions and operations: a challenge or a possibility », *Energy Security Highlights*, Third quarter, 2012, pp. 12-16.
- Molis Arunas, « Nato Energy Center of Excellence established in Vilnius », *Energy Security Highlights*, vol.7 (16), 2012, pp. 19-22.
- Molis Arunas, « Fuel supply for military missions and operations – in search for solutions », *Energy Security Highlights*, First quarter, 2012, pp. 12-15.
- Rogel Bernard (entretien), « Penser autrement le soutien naval de demain », *Soutien Logistique Défense*, n°8, automne-hiver 2012, pp. 6-17.
- Rougé Frédéric (dir., pour l'État-major de la marine), *rapport final du groupe de travail « Marine et pétrole »*, 17 juin 2009, 20 p. + annexes.

- Perin Charles H. III, Tuohy Emmet C., « Energy security begins at home: the US experience and the role of efficiency gains in promoting energy resilience », *Energy Security Forum*, Nato Energy Security Center of Excellence, vol. 3 (6), November 2012.
- Saint-Quentin (de) Grégoire (entretien), « L'imagination au pouvoir », *Soutien Logistique Défense*, n°9, printemps-été 2013, pp. 31-33.
- Staponaviciute Ieva, « Back to the future and sustainable transport in the military? », *Energy Security Highlights*, Third quarter, 2012, pp. 6-11.
- Vélut Jean-Louis (entretien), « Un risque consenti. Les convois logistiques au Mali : l'anti-Afghanistan », *Soutien Logistique Défense*, n°9, printemps-été 2013, pp. 34-39.
- Weaver Robert, « Démarche Développement Durable au sein des forces armées américaines et exemples de solutions énergétiques éco-efficientes déployées », Service des essences des armées (SEA), *Achats responsables au ministère de la Défense dans le domaine du soutien pétrolier*, Actes du colloque éponyme tenu le 19 février 2013, 57 p. – http://www.defense.gouv.fr/content/download/205570/2278692/file/Actes%20Colloque%20achats_SEA_fevrier%202013.pdf

Numéros spéciaux de revues :

- « Le développement durable dans les Armées », *AGPM Bulletin*, n°234, avril 2008.
- « Le développement durable », *Air Actualités*, février 2008.
- « La protection de l'environnement », *L'Armement*, n° 84, décembre 2003, 172 p.
- « Les conséquences géostratégiques du réchauffement climatique », *Les cahiers de Mars*, Paris, Association Mars, n°200, juin 2009.
- « Climat, défense et sécurité », *Défense*, Paris, n° 141, sept.-oct. 2008.
- « Droit et Climat », *Droit, Science & Technologies*, Paris, CNRS Editions, n°2, 2009.
- « Climate countdown », *Foreign Affairs*, sept.-oct. 2009.
- Voir également les numéros de *Tendances Carbone*, publié par la Caisse des dépôts – 50 numéros en septembre.

