

NOTE 5

Note n° 64/FRS/OBSUSA
du 17 janvier 2020

Marché n° 2018 1050 118 198

EJ court 180 005 17 10

notifié le 18 octobre 2018

réunion de lancement : 14 novembre 2018

Bon de commande SPAC n° 5 du 22 avril 2020

Référence CHORUS : 1404991204

Le *Department of Defense* : acteur central du développement énergétique des États-Unis

NICOLAS MAZZUCCHI

FONDATION
pour la **RECHERCHE**
STRATÉGIQUE

SOMMAIRE

RÉSUMÉ.....	1
INTRODUCTION	2
1. LA PRISE DE CONSCIENCE DE LA DÉPENDANCE PÉTROLIÈRE	3
1.1. 2003-2009 : période charnière	3
1.2. Les initiatives sous Obama	3
1.3. L'administration Trump : retour en arrière ?	4
2. LE DoD ET SES PARTENAIRES NATIONAUX DANS LE DÉVELOPPEMENT DES NOUVELLES TECHNOLOGIES.....	5
2.1. La Navy comme acteur majeur du changement (2009-2016).....	5
2.2. L'Army, acteur tard venu	5
2.3. La Defense Logistics Agency comme organe de sécurité énergétique	6
2.4. La DARPA	6
2.5. Le Manufacturing technology (ManTech) Program.....	7
3. LES PARTENARIATS EXTERNES AU DoD.....	8
3.1. La coopération DoD-DoE	8
3.1.1. Le rôle de l'ARPA-E	8
3.1.2. Les autres structures du DoE.....	8
3.2. Les coopérations internationales (OTAN, bilatérales).....	9
3.2.1. L'OTAN, acteur essentiel ?	9
3.2.2. Les coopérations bilatérales	9
4. LES AXES DE RECHERCHE TECHNOLOGIQUES	10
4.1. Les domaines prioritaires envisagés.....	10
4.1.1. Les biocarburants	10
4.1.2. La production d'énergie en opération	11
A. Le nucléaire.....	11
B. Les énergies renouvelables	12

4.1.3.	Le stockage d'énergie et d'électricité	12
A.	La gestion de l'énergie dans les équipements des plates-formes	12
B.	Les batteries à haute capacité	13
C.	L'hydrogène.....	14
4.1.4.	La cybersécurité des infrastructures énergétiques	15
5.	LE DOD ET LES INDUSTRIES DE DÉFENSE	16
5.1.	L'évolution de la BITD américaine	16
5.2.	Le domaine énergie dans les textes export (ITAR/EAR).....	17
	CONCLUSION.....	19
ANNEXE 1		
	LISTE DES PRINCIPAUX MATÉRIAUX D'APPLICATION ÉNERGÉTIQUE STOCKÉS PAR LA DLA	20
ANNEXE 2		
	COOPÉRATIONS ENTRE LA DLA ET DES LABORATOIRES UNIVERSITAIRES SUR L'HYDROGÈNE... 21	
ANNEXE 3		
	TABLEAU DES EXPÉRIMENTATIONS DE BIOCARBURANTS PAR LE DOD.....	22
ANNEXE 4		
	CONCEPT DE CENTRALE NUCLÉAIRE MOBILE	22
ANNEXE 5		
	CARTE DES LABORATOIRES DU DoE.....	23
	RÉFÉRENCES	24

Le *Department of Defense* : acteur central du développement énergétique des États-Unis

Résumé

Les États-Unis ont été les pionniers de la prise en compte des enjeux à la fois de sécurité énergétique opérationnelle mais aussi des changements climatiques dans l'action des forces armées. Désireux de sortir d'un système énergétique quasi-exclusivement fondé sur les carburants pétroliers, les forces armées américaines ont initié, dès la fin des années 2000, des réflexions et expérimentations sur les nouveaux modes et usages énergétiques.

Le poids de l'orientation politique des présidences s'est fait particulièrement sentir, d'abord en faveur puis en défaveur de ces nouvelles technologies. Ainsi, à une administration Obama très préoccupée des enjeux de sécurité énergétique et de lutte contre les changements climatiques, a succédé une administration Trump marquée par une profonde modification des priorités du *Department of Defense* (DoD). Les changements d'organisation et d'orientation semblent ainsi avoir signé la fin de la prise en compte de ces enjeux comme priorité doctrinale et opérationnelle, à l'exception notable de l'Army.

Néanmoins, cette réorientation ne signifie pas un abandon des initiatives engagées, en particulier au niveau technologique. Les décideurs militaires américains sont notamment tout à fait conscients de l'importance des nouvelles technologies énergétiques, en particulier sur la production et l'utilisation d'électricité. Avec l'entrée en service d'équipements de plus en plus énergivores, les forces armées américaines doivent prendre en compte de manière toujours plus importante la problématique de la gestion énergétique opérationnelle, notamment en termes de sobriété.

En ce sens, la création en 2007 de l'ARPA-E a marqué un tournant important. Envisagée comme un *spin-off* de la DARPA pour les technologies énergétiques civiles, l'ARPA-E est un acteur majeur du développement des nouvelles technologies stratégiques dans ce domaine. Elle travaille de manière étendue sur les énergies, aussi bien en termes de production que d'utilisation et d'optimisation. De fait l'ARPA-E bénéficie d'une coopération étroite avec la DARPA et d'autres acteurs du DoD pour un certain nombre de technologies d'utilisation duale comme les batteries à grande capacité, les biocarburants ou les moteurs électriques sans terres rares.

Avec la volonté affichée depuis des années par le Président Trump de supprimer l'ARPA-E, ainsi que la réorganisation des sous-secrétariats du DoD en 2016, l'avenir des questions énergétiques innovantes au sein du DoD semble compromis. Toutefois, dans le même temps, le DoD apparaît plus ouvert sur un certain nombre de technologies que par le passé, comme les réacteurs nucléaires modulaires de petite taille (SMR pour *Small Modular Reactors*). Cette double dynamique paradoxale, entre une orientation politique moins bien disposée vis-à-vis de certaines technologies et des travaux conduits par les forces en termes de R&D et parfois de doctrine, est une caractéristique profonde de l'évolution actuelle du DoD, avec des oppositions nettes entre l'OSD et les *Services*.

Introduction

Les États-Unis sont par essence la nation du pétrole. La grande histoire de l'exploitation de l'hydrocarbure liquide commence d'ailleurs quelques années après la fin de la Guerre de Sécession dans les champs de Pennsylvanie, pour se poursuivre jusqu'à nos jours. Les États-Unis ont dès le début du XX^e siècle disposé de déterminants particuliers quant au pétrole, lorsque J. D. Rockefeller manifestait l'importance du raffinage sur la production en unifiant sous sa férule l'ensemble des capacités nationales de transformation du brut en carburants. En ce début de XXI^e siècle, les États-Unis disposent toujours d'une position unique au niveau mondial puisqu'en plus d'être les premiers producteurs et consommateurs de pétrole au niveau mondial, ils demeurent de loin les premiers raffineurs avec 20% du total mondial ; sans compter le rôle d'équilibrage des marchés conféré par le dollarⁱ. Le *Department of Defense* des États-Unis est à lui seul l'un des plus gros consommateurs d'énergie au monde, avec un budget dédié qui se montait pour le FY2018 à près de 11,5 milliards USD, soit 23% de l'ensemble des dépenses énergétiques de l'État américainⁱⁱ.

De fait la logistique militaire et la vision des États-Unis des enjeux énergétiques ont été – et demeurent – modelées par cette vision de l'abondance des carburants. Les forces armées américaines ont été, depuis la Seconde guerre mondiale, marquées par une logistique pétrolière sans faille. Moteurs de la politique du carburant unique au sein de l'OTAN, les forces armées des États-Unis ont également été motrices dans le développement de nouvelles technologies énergétiques, à commencer par les réacteurs nucléaires à eau pressurisée pour les sous-marins, devenus depuis la technologie dominante du nucléaire civil à l'échelle mondiale (environ 75% des réacteurs en service en 2020). Cette orientation historique du développement militaire de technologies ensuite transposées dans le domaine civil perdure en ce début de XXI^e siècle. Toutefois il appartient de comprendre quelle est la dynamique actuelle de développement technologique au sein du DoD et des différentes forces armées, y compris dans ses liens avec les entreprises et les organismes extérieurs.

1. La prise de conscience de la dépendance pétrolière

1.1. 2003-2009 : période charnière

En 2003, lors de la Seconde guerre d'Irak, le commandant de la 1^e division des *Marines*, le général James Mattis, futur Secrétaire à la Défense de l'administration Trump, rencontrant de grandes incertitudes quant à son approvisionnement en carburant lors de l'offensive décisive vers Bagdad, aurait déclaré : « *nous devons nous libérer du carcan du carburant* »ⁱⁱⁱ. La consommation énergétique des forces blindées et mécanisées en opérations est devenue à cette date un véritable casse-tête logistique. Un M1 Abrams consomme ainsi entre 137 et 273 litres de carburant par heure suivant le terrain et les conditions^{iv}. Le RETEX de l'opération *Iraqi Freedom* a toutefois démontré que la logistique pétrolière de l'offensive avait été préparée de manière appropriée, malgré les volumes colossaux mis en jeu^v.

Toutefois, une fois l'offensive passée, c'est bien dans la période suivante, celle de l'enlèvement en Irak et en Afghanistan, que se font jour dans la durée les enjeux de la chaîne logistique pétrolière. À partir de 2005, des RETEX et analyses laissent entrevoir la grande vulnérabilité de la chaîne logistique pétrolière qui est souvent la cible privilégiée des insurgés. En 2009 une étude interne au DoD finit par faire le point sur cette vulnérabilité avec un constat alarmant : la moitié des morts et blessés américains en Irak et en Afghanistan entre 2003 et 2007 ont été causés lors d'attaques sur cette même chaîne logistique pétrolière^{vi}.

Cette étude entre en résonance avec les travaux conduits depuis plusieurs années sur la sécurité énergétique des forces – en particulier l'*Energy Security Task Force* de 2006^{vii} et les rapports du *Government Accountability Office* (GAO) de 2008 et 2009 sur les enjeux liés à la transition énergétique dans les forces^{viii}. Elle rend compte du coût humain et des vulnérabilités opérationnelles des approvisionnements énergétiques des forces déployées sur le théâtre de guerre de CENTCOM. À partir des leçons de cette étude et des travaux entrepris concomitamment pour trouver des initiatives de réduction de l'empreinte carburant des forces armées, le DoD sous l'administration Obama prend le sujet en charge de manière importante.

1.2. Les initiatives sous Obama

La conscience globale au sein de l'administration Obama des risques majeurs portés par les changements climatiques se combine aux conclusions des analyses sur les vulnérabilités énergétiques. Dans ce cadre est créé au sein du DoD un poste d'*Assistant Secretary* spécifique pour les questions énergétiques opérationnelles en 2011 par élévation des responsabilités du Directeur des plans et programmes énergétiques opérationnels. Cette initiative est suivie, en 2014, de la création d'un autre poste d'*Assistant Secretary* pour les questions environnementales en fusionnant des responsabilités diverses. Cette fusion des responsabilités marque l'acmé de la prise en compte, des questions énergie et changement climatique qui sont l'un des piliers de l'action de l'administration Obama dans le domaine de la technologie militaire. En 2014 également est établie au sein du *Defense Science Board*, une *Task force* sur les questions énergétiques dans les implantations OPEX chargée de réfléchir aux options de diversifi-

cation des sources d'énergie^{ix}. L'acte le plus important intervient en 2016, avant le changement d'administration et la publication de la révision de l'*Operational Energy Strategy* qui met l'accent sur plusieurs points^x : amélioration des performances pour les futures unités/équipements, identification et réduction des risques logistiques opérationnels, amélioration de l'efficacité des missions tenant compte des plates-formes actuelles. Il s'agit ainsi d'une vision complète des enjeux énergétiques dont il est important de noter que le premier objectif – partiellement le second aussi – se positionne dans une optique de développement techno-industriel. Les enjeux énergétiques sont ainsi inclus plus fermement dans la conception capacitaire des forces des États-Unis du futur.

1.3. L'administration Trump : retour en arrière ?

La situation a profondément changé avec l'arrivée en poste de l'administration Trump qui a opéré des changements profonds dans les orientations des forces armées en ce qui concerne les programmes prenant en charge les effets du changement climatique et, par voie de conséquence, les systèmes énergétiques innovants. Il semble que ce soit une orientation profonde de l'administration elle-même en dépit de la nomination de James Mattis comme Secrétaire à la Défense, eu égard aux positions de celui-ci vis-à-vis des questions énergétiques comme climatiques^{xi}. Dans l'US Navy notamment, ces changements se sont traduits par un quasi-abandon des programmes engagés. Identiquement, l'US Air Force apparaît maintenant bien plus en retrait sur le sujet des biocarburants qu'elle ne l'était il y a quelques années.

La structure du DoD manifeste aujourd'hui ces orientations. La suppression du poste d'*Assistant Secretary* chargé des questions de sécurité environnementale, des infrastructures et de l'énergie a signifié le repositionnement de ces enjeux dans le domaine plus vaste de la logistique et des infrastructures. À l'heure actuelle c'est l'*Assistant Secretary for Sustainment* qui se trouve en charge depuis 2018 des questions liées aux changements climatiques et à l'énergie^{xii}. De fait, comme manifesté par le *Reports on the Effects of a Changing Climate to the Department of Defense*^{xiii}, le DoD se préoccupe avant tout de la vulnérabilité des infrastructures de la défense face aux événements climatiques extrêmes. L'enjeu central du DoD dans les questions énergétiques est maintenant la résilience quitte à vouloir opposer frontalement les modèles.

Toutefois les questions environnementales, malgré cette orientation, ne semblent pas totalement hors du scope des décideurs du DoD, sous la pression du Congrès. En effet le *National Defense Authorization Act* (NDAA) de la FY2020 prévoit notamment la mise en place d'un outil d'évaluation des risques climatiques et environnementaux au sein du DoD, pour l'évaluation de l'exposition des forces armées à ceux-ci. Identiquement il insiste aussi sur la nécessité de mettre en œuvre des politiques d'adaptation et de mitigation des risques climatiques pour les armées. Une analyse du NDAA FY2020 montre par ailleurs que le Congrès tend à accorder des autorisations budgétaires plus importantes que celles demandées dans les domaines des nouvelles technologies énergétiques et de la résilience énergétique et environnementale des forces.

2. Le DoD et ses partenaires nationaux dans le développement des nouvelles technologies

2.1. *La Navy comme acteur majeur du changement (2009-2016)*

L'US Navy s'est, durant cette époque, saisie du problème énergétique bien plus que les autres armées. Après avoir instauré une *task force* énergie au sein de la Navy, la décision est prise en 2009 de mettre en œuvre un plan extrêmement ambitieux dont le couronnement doit être en 2016 la croisière *Great Green Fleet*, équivalent contemporain de l'opération *Sea Orbit* de 1964 qui avait vu trois unités majeures à propulsion nucléaire conduire une circumnavigation de 65 jours. Ce plan inclut également la volonté de monter le volume des sources d'énergie alternatives (incluant les biocarburants) à 50% des besoins de la Navy en 2020^{xiv}. La *Great Green Fleet* voit finalement le jour à la date prévue autour du groupe aéronaval du *John C. Stennis* en utilisant un biocarburant issu en partie de graisses animales, après plusieurs campagnes de test, lors de RIMPAC 2012 notamment.

De fait les besoins énergétiques de la Navy sont ceux qui évoluent le plus vite en regard du besoin d'incorporer à la fois de nouvelles plates-formes (drones marins ou sous-marins) et de nouveaux équipements dans son ordre de bataille. Les changements technologiques qui s'annoncent à partir du début des années 2000, avec un bond en avant industriel prévu très important à cette date. Ainsi, les porte-avions à catapultes électromagnétiques (programme CVN-21) ou les destroyers lance-missiles de premier rang (programme DD21 devenu DDG-1000), entre autres, obligent à penser l'électrification massive de la flotte. Dans ce contexte, il n'est pas étonnant que la Navy confrontée à la fois aux enjeux logistiques les plus importants, ainsi qu'à l'évolution prévisible de son ordre de bataille ait été aux avant-postes des enjeux énergétiques, même si elle a parfois été dépassée par certains d'entre eux^{xv}.

2.2. *L'Army, acteur tard venu*

De manière relativement contre-intuitive avec la remise en cause de l'importance des enjeux environnementaux – et, dans une moindre mesure, énergétiques – l'US Army qui avait été quasi absente des travaux des années Obama, se révèle la force armée la plus engagée. En effet, la création du *Futures Command* en 2018 a mis en évidence la volonté de l'US Army de renforcer sa réflexion prospective, y compris dans le domaine énergétique. À l'automne 2019, lors d'une intervention à la Brookings, son commandant, le Lt-Gen E. Wesley, évoquait le besoin de changer l'orientation des armées vis-à-vis des carburants fossiles comme l'un des plus grands défis pour l'US Army^{xvi}, mettant en avant les possibilités dans l'hybride et les biocarburants. Les différents laboratoires du *Futures Command* travaillent ainsi tant sur les nouvelles sources d'énergie^{xvii} que sur l'augmentation de la performance énergétique des futurs équipements (hélicoptères, blindés, etc.)^{xviii}.

Identiquement, en termes de réflexion doctrinale, l'*US Army War College* a publié fin 2019 un rapport intitulé *Implications of Climate Change for US Army*, qui est particulièrement intéressant dans l'optique de la prise en compte du changement climatique et de ses effets pour les forces terrestres, tant dans les missions à conduire que dans les orientations technologiques

induites^{xix}. Le *Training and Doctrines Command* (TRADOC) dans son document *The Operational Environment and the Changing Character of Warfare* de 2019^{xx} laisse également entrevoir les enjeux énergétiques comme un « *game changer* » à l’horizon 2050 tant en termes de ressources que de technologies à maîtriser dans la compétition internationale.

2.3. La Defense Logistics Agency comme organe de sécurité énergétique

Au sein du DoD, il importe de relever le rôle particulier de la *Defense Logistics Agency* (DLA) comme acteur de sécurité énergétique, mais également, de manière indirecte, comme interface entre le DoD et les entreprises américaines. Le rôle de l’agence est ainsi double puisqu’elle est à la fois en charge des achats et du stockage de matières premières – y compris carburants et leurs additifs militaires spécifiques – mais aussi au niveau inter-agences de la mise à disposition des matières premières, voire de leur revente aux entreprises américaines lorsque les stocks sont jugés trop importants.

Son action est particulièrement importante dans le domaine des métaux stratégiques, lesquels sont d’une importance cruciale pour la fabrication des équipements de défense, aussi bien que pour les technologies énergétiques de pointe (lithium et cobalt pour le stockage, terres rares pour les aimants permanents de forte puissance, palladium pour les systèmes d’hydrolyse liés à la production d’hydrogène, niobium pour les réacteurs nucléaires, etc.).

La DLA est également un acteur important dans la recherche et le développement de technologies liées à la limitation de l’utilisation de ces mêmes métaux stratégiques. Elle est notamment active dans le domaine des batteries à usage militaire au travers du *Battery Network manufacturing technology R&D Program* qui finance des initiatives de recherche.

2.4. La DARPA

Agence de développement technologique du DoD, la DARPA a joué un rôle important dans le financement des initiatives liées à l’énergie pour les forces armées. Eu égard à l’importance de son budget – près de 3,5 milliards USD annuels – et de sa capacité à mettre en lien militaires et industriels, elle est l’organe privilégiée des efforts de maturation technologique. Dans le domaine énergétique, la DARPA a été au cœur du financement des premiers travaux contemporains sur les réacteurs nucléaires modulaires, suivant les besoins des armées. Dès le FY2012, l’agence propose un financement de 10 millions USD pour la mise en place d’un programme de développement de réacteur dédié aux forces armées. Celui-ci aurait dû évoluer en un programme de 6 ans avec un budget de 150 millions USD, mais il a été abandonné dans le contexte post-Fukushima qui voit une défiance générale du nucléaire s’installer et en raison de la mise sous *chapter 11* de Toshiba-Westinghouse. Alors que le DoE avait été à l’origine des premiers travaux et des premiers prototypes de SMR (NuScale, Hyperion, mPower)^{xxi}, c’est la DARPA qui est le premier grand bailleur de fonds institutionnel à réellement se positionner sur ce sujet en étant toutefois tributaire des circonstances qui frappent la filière.

Plus récemment la DARPA a également été au cœur du développement de systèmes de propulsion plus efficaces pour les opérations navales, en particulier s’agissant des drones marins et sous-marins autonomes. En ce sens, elle a joué son rôle d’interface industriels/militaires

pour apporter des solutions au problème de l'endurance des futurs systèmes autonomes navals destinés au contrôle de zone, à la *seabed warfare* ou à la guerre des mines. Le programme *Blue Wolf*^{xxii} lancé en 2015 et réunissant Boeing et Lockheed-Martin a représenté un financement total de plus de 11 millions USD^{xxiii}.

La DARPA poursuit également le développement de certains programmes qui, s'ils ne sont pas immédiatement liés aux questions énergétiques en tant que telles, ont néanmoins des applications importantes dans le domaine, à l'image du programme MATRIX sur les matériaux transducteurs (permettant la conversion d'énergie en chaleur ou en magnétisme par exemple)^{xxiv}, lequel permettra à terme des gains énergétiques dans les systèmes.

2.5. Le *Manufacturing technology (ManTech) Program*

Au travers du programme *ManTech*^{xxv}, le DoD promet depuis 1956 le développement de nouvelles technologies de production d'équipements considérés comme critiques pour les forces armées. Le *ManTech* se déploie en différentes instances par force armée (*Army ManTech*, *Navy ManTech*, etc.) ainsi qu'un spécifique pour la DLA et un autre pour la *Missile Defense Agency*. Le *ManTech* est un programme de développement de capacités industrielles au profit des forces armées, sous financement public qui permet au DoD, en complément d'autres dispositifs, d'aider de manière indirecte les entreprises américaines dans leur développement technologique et l'amélioration de leur outil de production.

Au travers des années le *ManTech* a ainsi été mis en œuvre également sur les questions énergétiques avec en particulier les axes d'effort suivants :

- ➔ Batteries : batteries lithium-ion à haute densité (*Army ManTech*, 2011), amélioration du confort des batteries portables dans le cadre du système *NettWarrior*, équivalent américain du *FELIN* (*Army ManTech* 2015), amélioration du rapport poids / densité énergétique des batteries (*DLA ManTech*, projet au long-cours), batteries de forte capacité standardisées (projet transverse 2013).
- ➔ Cantonnement OPEX : amélioration de l'isolation et de l'efficacité énergétique des *shelters* de cantonnement (*Army Mantech* 2013).
- ➔ Propulsion : amélioration de l'efficacité des turbines aéronautiques (*Air Force ManTech*, projet au long-cours), revêtement en cuivre pour les moteurs électriques à grande vitesse (*DLA ManTech*, 2013).

3. Les partenariats externes au DoD

3.1. La coopération DoD-DoE

3.1.1. Le rôle de l'ARPA-E

L'*Advanced Research Projects Agency Energy* (ARPA-E) a été créée en 2007 à la suite d'un constat formulé en 2005 sur le besoin pour les États-Unis de disposer de capacités de R&D leur assurant une pérennité comme première puissance technologique mondiale^{xxvi}. Dans ce contexte, les technologies liées à l'énergie sont apparues comme les plus susceptibles de bénéficier de la mise en place d'un organisme de promotion de la R&D modelé sur la DARPA. Si elle est créée en 2007, l'ARPA-E ne fonctionne toutefois qu'à partir de 2009, année où elle est dotée de son premier budget. Son rôle n'est pas tant de financer entièrement des programmes de recherche, mais bien d'encourager les travaux dans des directions jugées prioritaires, y compris en agissant comme plate-forme de rencontre. Ainsi, l'ARPA-E a eu un impact de financement et d'orientation de la recherche très important sur les technologies énergétiques. Depuis sa création, l'ARPA-E travaille de manière étroite avec la DARPA et, plus généralement, le DoD, y compris au travers de programmes spécifiques co-financés.

L'ARPA-E demeure toutefois une agence avec un financement très limité (366 millions USD en FY 2019) en comparaison de la DARPA (3,427 milliards USD en FY 2019). En outre, le Président Trump qui ne croit pas en l'efficacité de l'ARPA-E – notamment à cause de l'orientation pro-renouvelables de l'agence – tente chaque année de la faire fermer, y compris en réduisant les budgets alloués au *Department of Energy* (DoE)^{xxvii}.

3.1.2. Les autres structures du DoE

Au-delà de l'ARPA-E, il faut également mentionner le rôle des différents laboratoires nationaux du DoE, véritable architecture de recherche et d'évaluation au service de l'administration américaine. Parmi les 13 laboratoires, un certain nombre ont des orientations ou des applications directes militaires : ceux liés au domaine nucléaire – mais travaillant sur des sujets bien plus vastes – (Sandia^{xxviii}, Livermore, Argonne^{xxix}) et le *National Renewable Energy Laboratory* (NREL). NREL, avec son orientation particulière sur les énergies renouvelables, est un partenaire important du DoD^{xxx}, lequel a financé un certain nombre d'expérimentations, y compris dans ses propres installations, en particulier sur l'utilisation couplée solaire/batteries^{xxxi} ou sur l'utilisation d'un micro-réseau électrique pour base militaire^{xxxii}.

Au-delà des laboratoires appartenant au DoE, il est également important de signaler la contribution des *Institutes for Manufacturing Innovation* sous l'égide du DoE, dont le rôle est à peu près équivalent au programme ManTech du DoD et qui travaillent en coopération dans ce contexte. L'institut *Power America*, créé en 2014 au sein de la *North Carolina State University*, mentionne dès sa page d'accueil les travaux conduits dans le domaine de l'énergie militaire, aux côtés des travaux civils de l'institut^{xxxiii}.

3.2. Les coopérations internationales (OTAN, bilatérales)

3.2.1. L'OTAN, acteur essentiel ?

Les États-Unis ont pris conscience relativement tard de l'importance de l'OTAN dans les questions énergétiques au sens large. Au-delà des réflexions sur la sécurité énergétique qui sont incluses dans toutes les déclarations finales des sommets de l'OTAN depuis celui de Chicago en 2012, le concept de *Green Defense* a été intégré formellement en 2014 avec la publication du *NATO Green Defense Framework* de l'Alliance qui apparaît comme étant en cohérence quasi-totale avec les orientations du DoD d'alors^{xxxiv}. Ce document promeut en particulier les coopérations entre alliés dans le but d'améliorer l'efficacité énergétique opérationnelle aussi bien que de prendre en compte les risques climatiques. Toutefois les implications réelles de ce concept sont demeurées relativement floues pendant plusieurs années, se bornant à de nouvelles expérimentations, réalisées notamment dans le cadre des exercices *Capable Logistician 13, 15* et *19*^{xxxv}.

Les États-Unis ont fini par rejoindre officiellement le Centre d'excellence sur la sécurité énergétique de Vilnius (ENSEC-COE) au mois de décembre 2016, en même temps que l'Allemagne. Cet investissement tardif sur ce domaine ne doit néanmoins pas masquer la volonté américaine d'utiliser le cadre otanien, en particulier *via* son rôle comme créateur de normes internationales. Les efforts entrepris par les États-Unis dans le domaine des biocarburants – du moins jusqu'en 2016 – et dans celui de l'efficacité énergétique pourraient ainsi déboucher à terme sur une volonté de normalisation à l'échelle de l'Alliance. Il importe ainsi de demeurer en alerte sur ces sujets qui pourraient avoir un impact majeur sur les BITD européennes et les forces armées du continent.

3.2.2. Les coopérations bilatérales

Les États-Unis, en dehors de l'OTAN, entretiennent des coopérations énergétiques privilégiées avec certains États, à commencer par l'Australie. Le *Department of Defence Science and Technology* (DST), équivalent australien de la DGA, annonce par exemple que les biocarburants qu'utiliseront les véhicules du futur des forces australiennes devront être compatibles avec ceux utilisés par les forces américaines^{xxxvi}. Ce partenariat déséquilibré manifeste l'influence profonde des États-Unis vis-à-vis de certains de ses alliés et pourrait entraîner des coalitions *ad hoc* pour la mise en place de nouvelles normes.

L'Italie a également été un partenaire important pour les États-Unis, en particulier au niveau naval. En 2014, la *Marina Militare* choisit de conduire une expérimentation identique – à niveau bien plus modeste – à la *Great Green Fleet*. La *Flotta Verde* qui bénéficie du RETEX de l'US Navy et, par la suite d'un mémorandum de coopération entre les deux marines sur les biocarburants, permet à la Marine italienne de faire naviguer le patrouilleur *Commandante Foscari* avec un biocarburant produit localement^{xxxvii}. Les exercices entre les deux marines, conduits en 2016, ont notamment mis en œuvre le pétrolier-ravitailleur italien *Etna* chargé en biocarburant lequel a alimenté indistinctement les navires des deux marines.

4. Les axes de recherche technologiques

Le DoD considère l'énergie dans deux catégories distinctes : d'une part l'*installation energy* qui correspond aux implantations fixes du DoD et aux véhicules qui ne sont pas destinés aux opérations, d'autre part l'*operational energy* destinée à l'alimentation des forces et des véhicules en opérations. La séparation en deux catégories permet ainsi de ne pas faire trop peser sur l'*operational energy* les différentes obligations de performance fiscales et de coût, celles-ci étant, en revanche, des objectifs prioritaires pour l'*installation energy*.

4.1. Les domaines prioritaires envisagés

4.1.1. Les biocarburants

Les forces armées américaines ont été, au niveau mondial, les premières à réellement conduire des expérimentations de grande ampleur sur les carburants alternatifs. Elles ont en cela suivi la réglementation civile qui depuis 2005 (*Energy Policy Act of 2005*) prévoit des standards de carburant incluant une part importante de bioéthanol (RFS1 en 2005 puis RFS2 en 2009). 10 États sur 51 ont émis une réglementation pour obliger à l'utilisation du biocarburant E-10 quand le gouvernement fédéral promeut depuis le milieu des années 2000 le biocarburant E-85 pour ses propres véhicules. Dans ce contexte, les forces armées américaines ont également conduit de nombreux tests pour l'emploi éventuel de carburants mixtes. En 2016, la *Great Green Fleet* a été déployée avec une utilisation de biocarburants de type E-10.

S'agissant du domaine aéronautique, il est d'ailleurs intéressant de prendre en compte les différences qui existent entre les carburants aux États-Unis et en Europe. Malgré l'existence d'une norme OTAN (DEF-STAN 91-87) qui standardise les carburants aéronautiques (nomenclature OTAN F-34), les États-Unis ont développé depuis de nombreuses années des variantes locales avec des additifs spécifiques ; en particulier le JP-8+100 (nomenclature OTAN F-37). Toujours est-il que les États-Unis ont développé de nombreux carburants spécifiques et expérimentaux dans le domaine aéronautique depuis les années 1950. De nombreux carburants spécifiques ont ainsi été mis en œuvre ou testés depuis cette date avec notamment des essais au début des années 2000 pour des carburants de synthèse (*synthroleum*) produits selon le procédé Fischer-Tropsch, utilisé dans la fabrication des biocarburants. Depuis cette date et au moins jusqu'en 2016 les essais se sont multipliés.

La maîtrise technologique des biocarburants par les acteurs civils et militaires américains pourrait à terme offrir un avantage compétitif à ceux-ci dans la compétition industrielle militaire internationale. Les efforts de l'US Air Force pour obtenir des mélanges de biocarburants viables à 50/50 se sont multipliés au cours de la décennie 2010. En ce sens le DoD a été ces dernières années tant un prescripteur important qu'un soutien technologique – y compris en fournissant des plates-formes de test – pour les biocarburants militaires. Dans ce cadre, il est nécessaire d'analyser en profondeur les résultats obtenus par les forces armées américaines, afin d'anticiper une éventuelle évolution de la réglementation OTAN sur les questions de carburant (AJP 4.7). Toutefois cette politique de test et de développement de biocarburants est remise en cause lors de l'arrivée en fonction de l'administration Trump et, depuis 2017, les programmes apparaissent comme étant soit au point-mort, soit beaucoup moins prioritaires

que par le passé. Malgré ce relatif désintérêt pour les biocarburants, il est à noter que le DoD indiquait consommer en FY2018 l'équivalent de 85 millions de barils^{xxxviii}, soulignant par-là l'urgence à trouver des solutions viables^{xxxix}.

Les orientations plus récentes sur les questions de carburants alternatifs – pour des usages divers – se focalisent vers de nouvelles pistes, notamment la séquestration et la réutilisation du CO₂ (*Carbon Capture Use and Storage* ou CCUS), plus compatible avec la vision de l'administration actuelle sur le maintien des carburants fossiles, le CCUS agissant ici comme justification de la poursuite de leur utilisation malgré les impacts environnementaux. Le NDAA FY2020 prévoit notamment, sur demande du Congrès, le lancement d'un programme en ce sens, particulièrement pour la séquestration du dioxyde de carbone issu de l'eau de mer (*Blue Carbon Capture*) ou directement de l'air ambiant, avec le DoD (en particulier la Navy) comme maître d'œuvre, assisté d'autres agences dont le DoE et ses laboratoires^{xl}.

4.1.2. La production d'énergie en opération

A. Le nucléaire

Le principal enjeu révélé par l'étude de 2007 sur la chaîne logistique pétrolière a été la production d'énergie et d'électricité sur les FOB et autres implantations OPEX des forces armées américaines. L'utilisation très majoritaire de carburants militaires pour alimenter des groupes électrogènes a été l'une des principales raisons de l'importance de cette chaîne logistique particulièrement encombrée.

Depuis lors les travaux se multiplient afin de trouver des solutions militairement acceptables. En 2016, ressurgit notamment l'idée, explorée depuis les années 1950, d'employer des réacteurs nucléaires de petite taille (SMR) dans les implantations OPEX. En effet le rapport *Task Force on Energy Systems for Forward/Remote Operating Bases* conclut à l'impossibilité d'employer des énergies renouvelables eu égard aux problèmes de puissance et d'intermittence, pour se positionner en faveur du nucléaire^{xi}. Il s'agirait ainsi d'employer de tout-petits réacteurs nucléaires modulables (vSMR) d'une puissance de quelques dizaines de MW afin d'approvisionner de manière continue et prévisible les bases en électricité, limitant ainsi le recours à la chaîne logistique permanente à l'approvisionnement des véhicules et aéronefs.

L'US Army – au travers de l'US Army Corps of Engineers – qui est désignée comme responsable de l'exploration de cette piste technologique, rend en 2018 un rapport plus détaillé sur les usages nucléaires militaires dans le domaine de la production d'électricité^{xiii}, avec comme objectif celui de rendre mobile les futurs réacteurs nucléaires, en leur donnant la possibilité d'être transportés en conteneurs par camions ou par C-17. Le rapport est particulièrement précis sur les technologies recommandées aussi bien en termes de type de réacteur (réacteur à gaz à haute température ou HTGR) que de combustible (uranium peu enrichi mis sous forme TRISO). C'est le réacteur Holos de HolosGen^{xiiii} qui est finalement recommandé en termes de maturité et de coût avec une puissance installée entre 3 et 13 MW^{xliv}.

Cette étude donne lieu depuis le printemps 2019 à une coopération DoD (*via le Strategic Capabilities Office*, chargé de combiner les technologies matures pour réaliser des capacités innovantes) et le DoE pour l'évaluation et l'achat de vSMR, au sein d'un projet pluriannuel

nommé *Projet Pele*^{xlv} qui reprend certaines des conclusions de l'étude, en particulier sur le carburant TRISO. Ce projet, dont la première phase qui doit durer deux ans, dispose pour le moment d'un volet de financement de près de 40 millions USD, sachant que cela ne concerne pour le moment que la partie *design* du réacteur^{xlvi}.

B. Les énergies renouvelables

Malgré les conclusions de la *task force* énergie de 2016, les énergies renouvelables ont fait l'objet d'importants travaux de la part du DoD, ne serait-ce que comme source d'appoint sur les bases expéditionnaires. Le DoD a d'ailleurs fait inscrire dans le *US Code Title 10* (qui codifie les responsabilités de la défense), au paragraphe 2911, les objectifs en matière d'énergies renouvelables à long-terme. Ainsi le DoD vise un volume de 25% d'énergie consommée par ses installations issu de sources renouvelables à l'horizon 2025. Le même paragraphe précise également la nécessité pour le DoD de faire appel aux renouvelables autant que faire se peut, dans les limites des exigences opérationnelles^{xlvii}.

Au-delà des expérimentations et des dispositifs opérationnels, le DoD, eu égard à l'importance de ses implantations sur le sol américain, a permis la mise en place d'un grand nombre de projets renouvelables (géothermie, solaire, biomasse, etc.), dont un outil dynamique permet le suivi^{xlviii}. Identiquement, l'Air Force emploie depuis les années 2000 des technologies liées aux énergies renouvelables pour l'alimentation électrique d'un certain nombre de bases sur le sol américain ce qui réduit leur dépendance vis-à-vis du réseau électrique local, dont les fragilités sont bien connues. Par exemple Nellis AFB qui dispose depuis 2007 d'une capacité solaire de 13,2 MW augmentés à 37,2 MW en 2015. Les travaux de l'Air Force ont également permis la réalisation d'un système déployable en opération comprenant à la fois une production par panneaux solaires monocristallins, des batteries lithium-ion et un système de gestion en *micro-grid*^{xlix}.

4.1.3. Le stockage d'énergie et d'électricité

A. La gestion de l'énergie dans les équipements des plates-formes

Les programmes des grandes unités navales de ces dernières années, intégrant des évolutions majeures (*Zumwalt*, *Gerald Ford*), ont révélé un enjeu énergétique insoupçonné qui a été à l'origine d'importants dérapages budgétaires. Le système EMALS de catapultage électromagnétique des porte-avions de la classe *Gerald Ford* connaît de nombreux problèmes de mise au point, au point d'inquiéter les responsables de l'US Navy^l, ce qui, entre autres difficultés, génère de multiples délais et surcoûts largement pointés du doigt par le GAO depuis 2017^{li}. Le système EMALS qui fonctionne sur une architecture énergétique différente de celle des catapultes à vapeur – en utilisant un volant d'inertie pour le stockage d'énergie avant catapultage – a révélé le besoin de penser la conception du bâtiment autour de ce système complet, catapulte et stockage énergétique, ce dernier point ayant été sous-estimé. L'intégration du système, telle qu'elle a été conçue, ne permet pas non plus une maintenance simple.

D'autres technologies prospectives extrêmement énergivores nécessitent de penser une intégration électrique différente, en particulier avec un recours nécessaire à un stockage d'électricité en grande capacité. Il s'agit des armes à énergie dirigée, en cours de test au sein de l'US

Navy. Le canon électromagnétique *Rail Gun* testé dans la Navy a une demande énergétique qui dépasse les 25 MW qu'aucun bâtiment de combat actuel ou planifié ne permet de générer^{lii}. L'emploi de ce type d'armes s'inscrit cependant dans des perspectives de long terme. A plus brève échéance, la Navy entend déployer graduellement des lasers de forte puissance^{liii} (plusieurs centaines de kW) mais leur rendement ne dépasse pas 30%, exigeant de grande quantité d'énergie. La mise en œuvre à court terme d'une première génération d'arme laser est certes envisageable mais il convient également de compter avec d'autres nouveaux systèmes, eux aussi très gourmands, tel l'*Air and Missile Defense Radar*. La puissance installée sur la nouvelle série de destroyers DDG-51 en cours de construction, pourtant améliorée par rapport aux versions précédentes, sera à peine suffisante pour mettre en œuvre ces équipements^{liv}. Aller au-delà nécessite de recourir à des systèmes management et de stockage de l'électricité à bord radicalement différents.

La Navy qui avait d'ailleurs été la première force armée à intégrer un système hybride diesel/électrique au sein d'une de ses grandes unités – *USS Makin Island* lancé en 2006 –, a continué d'avancer sur les questions de gestion de l'énergie embarquée, y compris dans la perspective d'emploi d'équipements et d'armements très énergivores. En 2005, des chercheurs de l'*Office of Naval Research* (ONR) considéraient ainsi que le navire à propulsion électrique intégrée « *permettrait d'augmenter de manière importante les capacités de combat et de flexibilité du navire* »^{lvii}. De manière plus transverse, les travaux sur le DDG-1000 *Zumwalt* ont permis de valider certains concepts. Toutefois, les travaux postérieurs sur le *Zumwalt* ont néanmoins fait ressortir les grandes difficultés engendrées par certains bonds en avant technologiques, en particulier sur le système de propulsion/gestion de l'énergie. Les rapports du GAO sur le programme *Zumwalt* mettent en avant les difficultés et les dérapages budgétaires de ces nouveaux navires, en particulier sur le système énergétique. Celui-ci – sans qu'il en soit la seule cause – a contribué à la limitation *in fine* de cette classe de navires à trois unités, à cause d'un coût insupportable^{lviii}.

Plus récemment l'US Army, au travers du programme *Joint Light Tactical Vehicle* (JLTV), s'est également orientée vers l'essai de systèmes hybrides pour la propulsion. Le vainqueur final du programme JLTV, le L-ATV Oshkosh qui doit entrer en service en 2020 dans les forces américaines^{lviii}, s'il n'a finalement pas retenu l'option hybride complet, peut néanmoins être équipé d'un système de transmission diesel-électrique lui permettant d'économiser du carburant (entre 20 et 35% selon les données constructeur). Ce système – *ProPulse Powertrain*^{lix} – est néanmoins optionnel.

B. Les batteries à haute capacité

L'un des principaux enjeux dans le domaine de la défense, induit par la numérisation progressive des activités militaires, est celui de la disponibilité énergétique dans les équipements. Il s'agit tout à la fois d'alimenter en électricité les capteurs-effecteurs, mais également les systèmes de traitement de données beaucoup plus performants que supposent les *cloud* de combat en cours de développement, que ces systèmes soient débarqués, embarqués ou situés dans les PC à distance. Dans ce contexte, la question des batteries se révèle critique. Les batteries sont ainsi prévues pour être présentes à tous les niveaux opérationnels depuis le fantassin jusqu'aux infrastructures de stockage sur réseau pour les bases OPEX en passant par les véhicules dans tous les milieux.

Dans le domaine naval en particulier, la question des batteries, notamment pour les drones marins et sous-marins, est l'une des priorités stratégiques du DoD. De fait, il s'agit de l'un des principaux verrous technologiques à l'élargissement des familles d'*Unmanned Undersea Vehicle* (UUVs) crédibles, dont la Navy entend se doter pour démultiplier ses capacités de renseignement, de guerre des mines et de lutte anti-sous-marine en environnement contesté^{lx}. Les contrats passés avec un certain nombre d'entreprises, notamment PolyPlus, *spin-off* industriel de l'université Berkeley pour le développement de batteries au lithium pour 2 millions USD en 2017^{lxi}, en attestent. Le programme Blue Wolf de la DARPA^{lxii} manifeste d'ailleurs cette ambition du développement de nouveaux types de batteries, étant entendu que ces questions recouvrent également des enjeux de niveau stratégique au-delà des simples applications pour la défense^{lxiii}.

Le DoD est depuis de nombreuses années un acteur important du développement des batteries, en particulier sur la technologie lithium-ion. Dans son aspect normatif au travers des *military performance specifications*, il apparaît comme un prescripteur important en manifestant clairement ses besoins de performance pour les batteries portables (MIL PRF 32383)^{lxiv}. Cette vision normative permet ainsi aux industriels de disposer d'un cahier des charges extrêmement précis pour la mise au point de leurs équipements. Le DoD travaille sur ce point en grande synergie avec le DoE puisque les recherches conduites – séparément et conjointement – permettent d'aboutir à des technologies duales. C'est en particulier le cas pour les projets liés à l'entreprise PolyPlus. Si celle-ci est directement soutenue par le DoE, au travers en particulier de l'ARPA-E, le DoD est également comme l'un de ses principaux clients, ainsi qu'un partenaire important pour la localisation aux États-Unis d'infrastructures industrielles de production^{lxv}.

Au-delà de cet enjeu spécifique, les batteries font figure depuis la décennie 2010 de grande priorité nationale, comme en atteste un rapport du GAO de 2012 qui prescrit l'investissement massif dans un certain nombre de programmes de R&D^{lxvi}. Cette incitation du GAO a été l'occasion pour le DoD et le DoE de coopérer sur ce sujet avec des investissements massifs : 430 millions USD sur 14 projets pour le DoD, 852 millions USD sur 11 projets pour le DoE^{lxvii}.

C. L'hydrogène

Les travaux du DoD sur l'hydrogène, conduits en partie par la DLA en partenariat avec le DoE, ont commencé à la fin des années 2000 par l'expérimentation de piles à combustible sur des installations métropolitaines. La DLA, ainsi que d'autres entités du DoD comme l'*US Army Engineer Corps*, ont ainsi noué un certain nombre de partenariats avec des centres de recherche universitaires pour développer les différentes briques technologiques nécessaires à l'industrialisation du stockage hydrogène. L'US Navy a été l'un des premiers acteurs du DoD à se lancer dans l'exploration de la piste de l'hydrogène comme système de stockage d'énergie du futur. L'ONR a ainsi testé en 2009 un drone aérien propulsé grâce à un système *gas-to-power* hydrogène : l'Ion Tiger^{lxviii}. Si l'endurance demeure le principal problème du drone, sa faible signature sonore lui offre de nombreux atouts pour certaines actions particulières.

L'US Army qui demeure en pointe sur les questions énergétiques opérationnelles embarquées, teste un certain nombre de technologies pour les forces, dont l'usage de l'hydrogène dans les véhicules terrestres. En 2018, le TARDEC – devenu depuis le *Ground Vehicle Systems Center* – a ainsi initié un partenariat avec le DoE (*Fuel Cell Technology Office*) pour l'étude de faisabilité

des piles à combustible dans ses véhicules du futur destinés au secours post-catastrophes naturelles (programme *H2Rescue*)^{lxix}. Le NDAA FY2020 prévoit d'ailleurs une ligne budgétaire de 170 millions USD pour ces recherches.

4.1.4. La cybersécurité des infrastructures énergétiques

L'un des grands enjeux émergents depuis le début des années 2010 est celui de la mise à niveau en termes de cybersécurité des infrastructures énergétiques qu'elles soient civiles ou militaires. Dans ce contexte, le DoD s'est emparé de la problématique en lien notamment avec le DoE ainsi que les principaux organismes de régulation énergétique des États-Unis. L'une des nombreuses tâches du vaste programme de *cloud* général du Pentagone, le *Joint Enterprise Defense Infrastructure (JEDI)*, est d'améliorer le partage d'informations et de données entre DoD et DoE sur la cybersécurité des infrastructures énergétiques. Rappelons que pour l'instant, ce programme à 10 Mds USD, dont le contrat a été attribué à Microsoft en octobre 2019, est stoppé en raison de sa contestation par Amazon devant les tribunaux, sur fond de suspicion d'intervention présidentielle directe.

Cet enjeu est en outre traité au niveau du DoD au travers du programme *Facility Related Control Systems (FRCS) Cybersecurity*^{lxx} en lien avec d'autres acteurs. Le DoD agit au niveau fédéral, en lien avec le *Department of Homeland Security (DHS)*, comme prescripteur de normes de cybersécurité. De fait, dans le domaine de l'énergie, un MoU a été signé entre DoD, DHS et DoE début 2020 pour créer un cadre de coopération interservices sur les questions de cybersécurité dans le domaine énergétique^{lxxi}. L'*Energy Sector Pathfinder Initiative* vise à renforcer le niveau de cybersécurité des infrastructures critiques des États-Unis ainsi qu'à stimuler la recherche en ce domaine. Il n'est pas le seul axe de coopération DoE-DoD en ce domaine puisque la *Cybersecurity Strategy* du DoE mentionne également les exercices communs^{lxxii}.

5. Le DoD et les industries de défense

5.1. L'évolution de la BITD américaine

Un certain nombre d'entreprises de défense américaines s'intéressent de plus en plus aux questions énergétiques militaires, y compris pour des raisons de performance de leurs propres équipements. Il s'agit pour un certain nombre d'entre elles de profiter de développements dans le domaine civil pour augmenter leurs lignes de produits dédiés à la défense, et inversement de tirer parti des débouchés, des financements et des plates-formes de tests qu'offre le DoD.

Dans le domaine des biocarburants aéronautiques, Honeywell, après achat en 2005 de l'entreprise UOP, est devenu l'un des principaux partenaires des forces armées. Honeywell UOP a d'ailleurs été l'un des acteurs majeurs des différentes campagnes de tests de biocarburants pour l'US Air Force depuis la seconde moitié de la décennie 2000. Depuis, Honeywell poursuit sa diversification d'activités vers le domaine des systèmes connectés, y compris dans le management énergétique (*smart energy*), avec l'ouverture de la division Honeywell Forge^{lxxiii}. L'entreprise développe ainsi une vision de l'Internet des Objets Industriels qui pourrait à terme trouver des applications importantes dans le domaine de la défense, en particulier sur la gestion des systèmes énergétiques.

Dans le domaine des batteries, il est également important de noter les recherches chez General Atomics pour la division General Atomics Electromagnetic Systems (GA-EMS) qui oriente l'entreprise vers le développement de batteries^{lxxiv}. GA-EMS est au demeurant un acteur très engagé dans le développement des armes à énergie dirigée, en particulier du laser Gen 3, lequel s'appuie sur une batterie lithium-ion^{lxxv}. Il s'en suit le développement d'une gamme de batteries et de systèmes de gestion énergétique dérivés des technologies militaires et proposés au secteur privé. General Atomics est par ailleurs particulièrement actif sur le segment des réacteurs nucléaires modulaires (projet EM² à hélium)^{lxxvi}.

Enfin, le marché du drone maritime, où les capacités énergétiques sont prépondérantes, n'échappe pas au mouvement général de consolidation de la BITD (voir le rapport n°4 de cet observatoire) par le rachat d'entreprises jusque-là présentes uniquement sur les marchés civils. C'est le cas pour *Bluefin* racheté par General Dynamics et pour Liquid Robotics racheté par Boeing. Le *Wave Glider* de Liquid Robotics^{lxxvii}, issu de la recherche civile, vise également les applications défense (lutte ASM, relais de communications, surveillance maritime). Le *Wave Glider* qui est un engin de petite taille, utilise un double système de production d'électricité (marémoteur et solaire) couplé à une batterie de 9,6 MWh de capacité. Le programme *Bluefin 21* de drone civil, qui a évolué en drone dual (MUNEX, EOD), utilise une batterie lithium-ion. Il est par ailleurs le précurseur du drone *Knifefish* destiné spécifiquement à l'US Navy pour la guerre des mines^{lxxviii}, dont les tests de qualification se sont terminés en 2018.

Tant pour le programme *Wave Glider* de drone marin que pour le *Bluefin 21/Knifefish* de drone sous-marin, les entreprises se sont lancées dans le développement et l'intégration de batteries spécifiques, dont les technologies sont en grande partie issues du domaine civil. La défense a permis d'agir comme un multiplicateur puisque l'intégration de ces PME spécialisées

au sein de grands groupes internationaux leur a donné l'opportunité d'accélérer sur le développement technologique, étape cruciale qui aurait sans doute été plus longue si elles étaient restées cantonnées au domaine civil.

5.2. Le domaine énergie dans les textes export (ITAR/EAR)

Il importe également de considérer, au-delà des questions de développement technologique, comment les États-Unis agissent pour la protection des composants et technologies mis au point sur leur territoire. En ce sens le DoD – aux côtés de l'ensemble de l'architecture administrative – joue également un rôle important dans la restriction des exportations vers des pays considérés comme hostiles ou dangereux par les États-Unis. Deux textes sont concernés, à la fois : *International Traffic in Arms Regulation* (ITAR) et *Exports Administration Regulation* (EAR). ITAR s'intéresse aux exportations de matériels, technologies et savoir-faire de défense, alors qu'EAR est destiné aux technologies duales et, de fait, durcit les dispositions de l'Arrangement de Wassenaar. Leur rattachement administratif est différent puisqu'ITAR est considéré comme une disposition diplomatique et tombe sous la juridiction du *Department of State* (DoS) alors qu'EAR est régi par le *Department of Commerce* (DoC).

ITAR repose sur une liste intitulée *United States Munitions List* (USML). Elle a l'avantage d'être évolutive pour permettre une adaptation aux nouveaux enjeux internationaux, suivant le développement de telle ou telle catégorie. S'agissant des technologies énergétiques, le DoE est également consulté, en particulier pour EAR.

Le DoD ne possède pas, dans les deux architectures de régulations, d'autorité spécifique. Toutefois, son expertise et son champ de connaissance des évolutions du secteur lui attribuent un rôle essentiel dans le cadre de l'exportation de nouveaux types d'armement. La DTSA (*Defense Technology Security Administration*) est l'organe qui représente le DoD dans le cadre des sujets liés à l'exportation, notamment pour la révision de l'USML. En fonction des évolutions politiques, la DTSA coordonne et ajuste la position du DoD. Dans ces deux textes, différentes technologies énergétiques sont concernées à des niveaux divers, suivant leur implication pour la défense et leur utilisation potentielle dans des matériels de guerre :

- ➔ Pour ITAR : Équipements de stockage électrique de navires (Catégorie VI-f-2), Équipements de gestion électrique dans les avions (VIII-h-28), Systèmes de conversion énergétique (XIII-h), Turbines à gaz (XIX), Moteurs pour sous-marins (XX-b).
- ➔ Pour EAR : Véhicules terrestres (Catégorie 0A606)^{lxxix}, Divers équipements militaires (0A617)^{lxxx}, Structures ou laminés en matériaux composites (1A002), Générateurs électriques portables (2A994), Groupes électrogènes de forte puissance (3A226 et 3A227), Submersibles habités ou non (8A001), Équipements de propulsion pour équipements sous-marins (8A002), Navires de surface (8A609), Navires et sous-marins océanographiques (8A620), Équipements de navires (8A992), Turbines aéronautiques (9A001), Turbines navales (9A002), Ramjet, Scramjet et moteurs à cycles combinés (9A011), Moteurs turbojet et turbofan (9A101), Turbopropulseurs (9A102), Avions militaires (9A610), Turbines à gaz militaires (9A619, 9A991).

Il ressort de ces deux listes une grande variété d'applications énergétiques concernées, notamment dans le domaine de la gestion de l'énergie/électricité dans les systèmes militaires, en particulier les navires et aéronefs. Le DoD est en outre un acteur particulièrement attractif pour les entreprises, ce qui permet de mieux faire accepter les réglementations export. L'entreprise SAFT dans sa plaquette commerciale défense indique d'ailleurs à la fois très clairement sa proximité avec le DoD, ainsi que son côté ITAR *compliant*^{lxxxix}.

Conclusion

Les États-Unis ont une attitude ambivalente sur le futur des questions énergétiques. À la fois impliqués dans le développement de technologies de rupture, ils sont également particulièrement en retard sur la transition énergétique et la modernisation des réseaux, ces deux éléments étant perçus très différemment par les deux bords politiques. De fait, les États-Unis ont à peu près raté le virage des énergies renouvelables et de l'industrialisation des batteries de première génération (fer-air, NMC, Lithium-ion phase liquide) et manifestent encore de graves vulnérabilités sur leur système énergétique malgré une abondance de ressources. Cette situation se retrouve dans le domaine militaire où la mono-dépendance aux carburants issus du pétrole a engendré une hyperconsommation, laquelle présente des risques non-négligeables dans les opérations ainsi qu'au niveau stratégique. Le DoD cherche à y apporter des réponses depuis la seconde moitié de la décennie 2000, avec une mobilisation de ses ressources suivant plusieurs axes, pas toujours coordonnés.

Les questions énergétiques sont duales par essence. Toute technologie développée dans le cadre militaire peut avoir une application civile et réciproquement, comme le montrent les acquisitions des entreprises de la BITD depuis quelques années. On assiste dans ce domaine plutôt à un renversement de tendance par rapport à l'époque de la Guerre froide ; c'est aujourd'hui le civil qui tire le militaire dans la R&D énergétique. Quoi qu'il en soit, les efforts entreprise depuis le milieu des années 2000 dans plusieurs directions (carburants, stockage, production d'électricité) montrent une réelle implication du DoD. Il n'en demeure pas moins que cette implication est particulièrement exposée aux orientations de politique générale de l'administration au pouvoir. Le changement entre les administrations Obama et Trump – avec la question du changement climatique comme point focal – a bien montré l'importance des orientations politiques générales quant aux projets de recherche et d'expérimentation conduits par les organismes publics.

Alors que l'avenir semble s'assombrir pour l'ARPA-E et, au-delà, pour les recherches conduites sur les énergies renouvelables et les biocarburants, les travaux se poursuivent toutefois dans le domaine militaire sur des technologies qui sont considérées comme plus immédiatement essentielles à l'évolution numérique des forces. Ainsi les dispositifs de stockage d'électricité pour les drones ou les futurs véhicules semblent faire maintenant l'objet de tous les efforts, y compris par suite des déboires des grandes unités de la Navy. Identiquement, le DoD apparaît comme étant toujours mobilisé sur les grandes priorités nationales énergétiques dans la compétition globale face à la Chine. Dans ce contexte, les dispositifs de stockage d'énergie et d'électricité, ainsi que les dispositifs liés à la production électrique en économisant les métaux stratégiques importés, demeurent des priorités majeures pour le pays, au sein desquelles le DoD apporte une contribution, en conjonction avec les autres acteurs.

Si le DoD a été depuis le XX^e siècle un acteur majeur des développements énergétiques aux États-Unis, ne serait-ce que par sa capacité de mobilisation de la recherche et de plateformes de test, son rôle est plus complexe aujourd'hui. Acteur focal pour la rencontre entre les différentes administrations et les industriels, il tend par ses orientations politiques à freiner ou accélérer les travaux. Reste à savoir si les orientations de l'actuelle administration perdureront et, dans l'affirmative, quels seront leurs impacts sur les technologies énergétiques aux États-Unis.

Annexe 1 LISTE DES PRINCIPAUX MATÉRIAUX D'APPLICATION ÉNERGÉTIQUE STOCKÉS PAR LA DLA

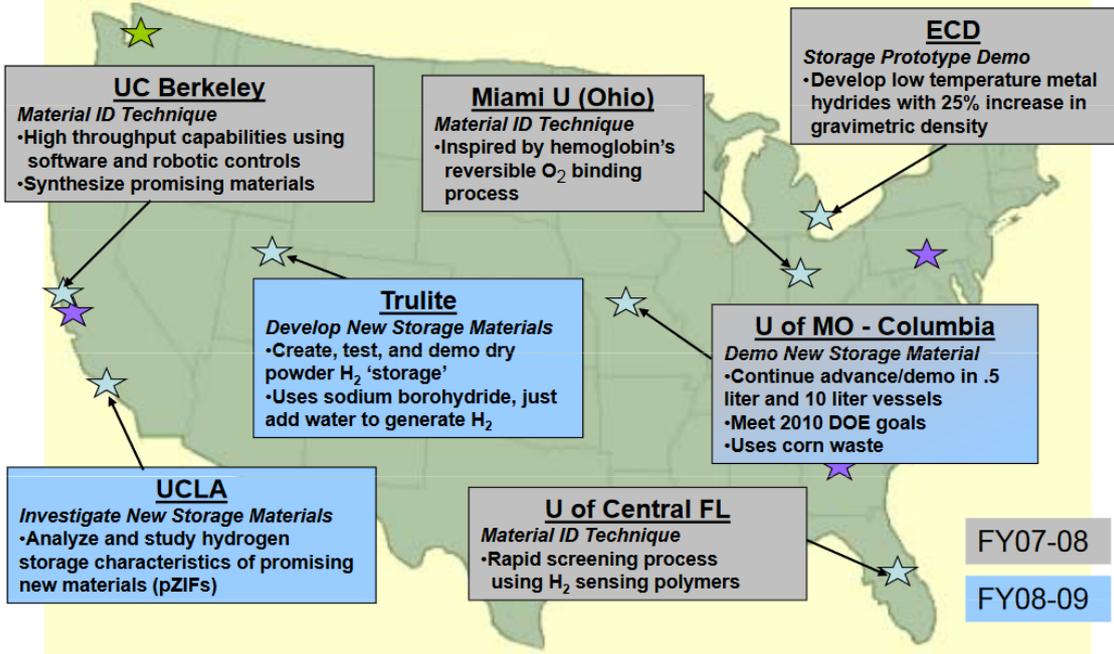
Matériel	Utilisation énergétique
Aluminium	Conductivité électrique
Antimoine	Batteries plomb-acide
Béryllium	Connecteurs de batteries, circuits intégrés à haute densité
Bore	Aimants permanents, modérateur de réaction nucléaire
Cadmium	Batteries nickel-cadmium
Chrome	Catalyse des hydrocarbures
Cobalt	Batteries lithium-ion
Cuivre	Câblage électrique
Graphite	Piles à combustible, batteries
Germanium	Panneaux solaires
Hafnium	Modérateur de réaction nucléaire
Indium	Panneaux solaires
Plomb	Batteries plomb-acide
Manganèse	Additif de carburants
Mercure	Éclairage électrique
Molybdène	Superalliage pour turbines aéronautiques
Nickel	Batteries, turbines, stockage du GNL, connecteurs électriques
Niobium	Turbines, alliages résistants à la chaleur (électronucléaire)
Palladium	Catalyse automobile, électrolyse de l'eau (hydrogène)
Rhénium	Turbines, catalyse des hydrocarbures
Tantale	Turbines aéronautiques
Terres rares	Aimants permanents (Dysprosium, Néodyme, Praséodyme, Samarium), batteries (Lanthane), catalyse des hydrocarbures (Lutétium), turbines aéronautiques (Yttrium)
Titane	Turbines à gaz
Vanadium	Batteries
Zinc	Batteries, panneaux solaires

Source : <https://www.dla.mil/HQ/Acquisition/StrategicMaterials/Materials/>

Annexe 2 COOPÉRATIONS ENTRE LA DLA ET DES LABORATOIRES UNIVERSITAIRES SUR L'HYDROGÈNE



Other DLA Initiatives: Solid H₂ Storage R&D



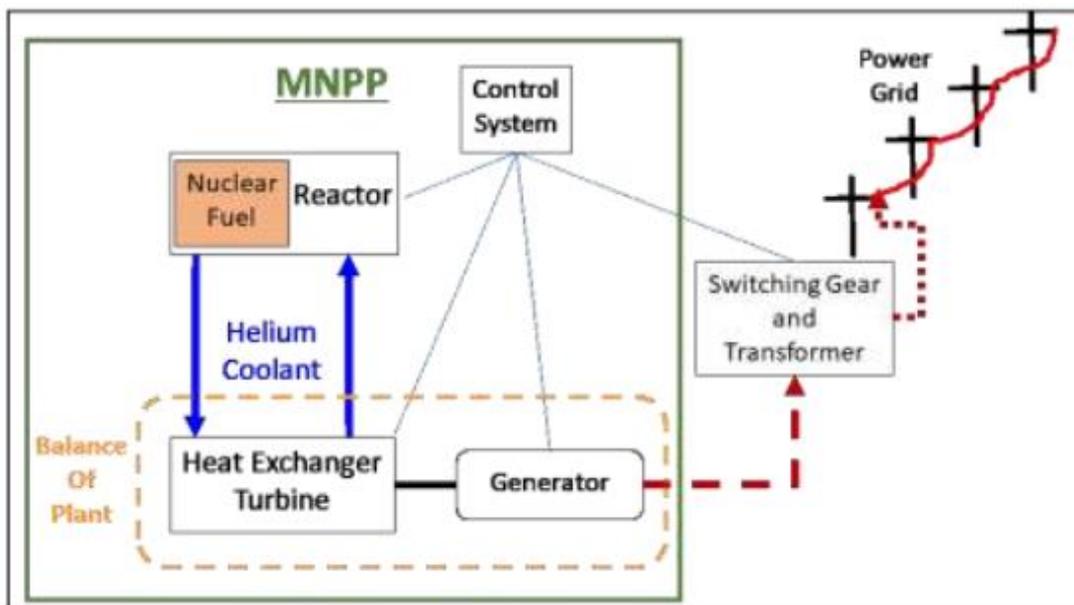
Source : https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/htac_feb_23_10_dod_update.pdf

Annexe 3 TABLEAU DES EXPÉRIMENTATIONS DE BIOCARBURANTS PAR LE DOD

Military Aircraft	Aircraft	Partners	Year	Feedstocks	Biojet Fuel Content	Conversion Pathway	References
U.S. Navy	F/A-18	Honeywell UOP	2010	Camelina	50%	OTJ	(World 2010)
U.S. Air Force	A-10C	Honeywell UOP	2010	Camelina, waste cooking oil	50%	OTJ	(Kessler 2010)
U.S. Air Force	F-22	Honeywell UOP	2011	Camelina	50%	OTJ	(Honeywell 2011)
U.S. Navy	MH60S Seahawk Helicopter	Honeywell UOP, Bozeman	2010	Camelina	50%	OTJ	(Tegler 2011)
U.S. Navy	MH60S Seahawk Helicopter	Solazyme	2011	Algae	50%	OTJ	(Tegler 2011)
U.S. Navy	T-45		2011	Camelina	50%	OTJ	(Wire 2006)
U.S. Navy	EA-8B		2011	Camelina	30-40%	OTJ	(Navy 2011)
Netherland Air Force	AH-64D Apache Helicopter	Honeywell UOP	2010	Waste cooking oil and algae	50%	OTJ	(Honeywell 2010)
U.S. Army	Sikorsky UH-60 Black Hawk helicopter	Gevo	2013	Cellulose-derived alcohol	50%	ATJ	(Gevo 2013)
U.S. Air Force	A-10C	Gevo	2012	Cellulose-derived alcohol		ATJ	(Gevo 2012)
U.S. Air Force	B-52	Syntroleum	2006	Natural gas	50%	GTJ (FT)	(Wire 2006)
NASA	DC-8		2011	Chicken and beef tallow		OTJ	(NASA 2011)
Dutch Military	Ah-64 Apache helicopter		2010	Waste cooking oil		OTJ	(Green Air 2010b)
EADs	Diamond D42		2010	Algae		OTJ	(Green Air 2010b)

Source : W-C Wang et alii, Review of Biofuel Jet Conversion Technologies, National Renewable Energy Laboratory, 2016.

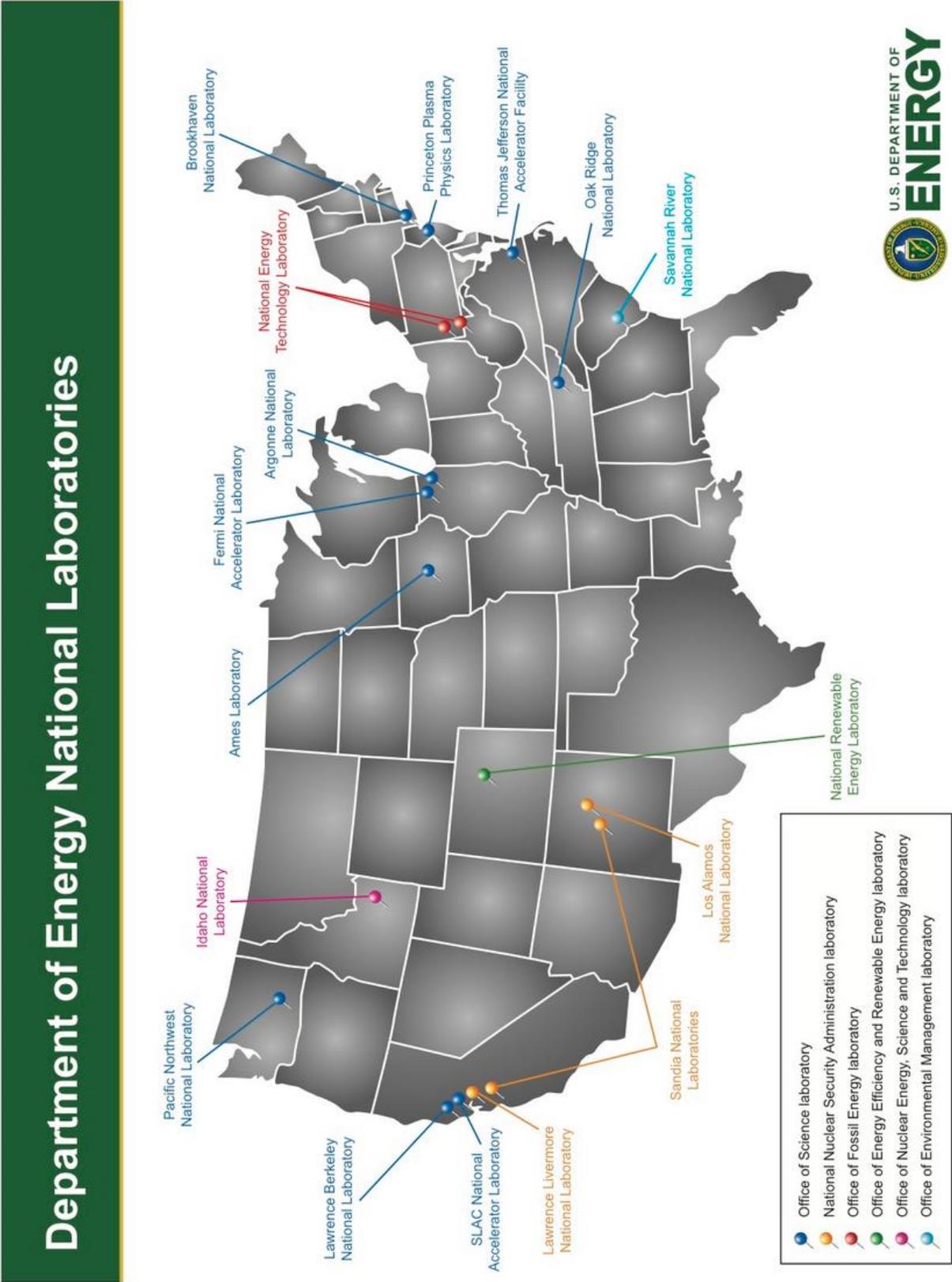
Annexe 4 CONCEPT DE CENTRALE NUCLÉAIRE MOBILE



Source : J. Vitali et alii, op .cit.

Annexe 5

CARTE DES LABORATOIRES DU DOE



Références

-
- ⁱ N. Mazzucchi, *Energie, ressources, technologies et enjeux de pouvoir*, Paris, Armand Colin, 2017.
- ⁱⁱ Selon les données du DoE : <https://ctsedwwweb.ee.doe.gov/Annual/Report/HistoricalFederalEnergyConsumption-DataByAgencyAndEnergyTypeFY1975ToPresent.aspx>
- ⁱⁱⁱ <https://www.atlanticcouncil.org/content-series/defense-industrialist/unleash-us-from-the-tether-of-fuel/>
- ^{iv} La 1^e division blindée comptait plus de 200 blindés M1 Abrams lors de son offensive de 2003 à titre d'échelle ; ce qui porterait à plus de 100 000 litres/heure la consommation de la division entière *a maxima*.
- ^v E. Peltz et alii, *Sustainment of Army Forces in Operation Iraqi Freedom, Battlefield Logistics and Effects on Operations*, Santa Monica, RAND, 2005.
- ^{vi} Army Environmental Policy Institute, *Sustain the Mission Project: Casualty Factors for Fuel and Water Resupply Convoys*, Arlington, DoD, 2009.
- ^{vii} <https://fas.org/sgp/crs/natsec/RL34062.pdf>
- ^{viii} <https://www.gao.gov/new.items/d09300.pdf>
- ^{ix} Voir infra.
- ^x https://www.acq.osd.mil/eie/Downloads/OE/2016%20OE%20Strategy_WEBd.pdf
- ^{xi} Position officiellement exprimée devant la commission des forces armées du Sénat : <https://blog.ucsusa.org/shana-udvardy/secretary-of-defense-james-mattis-the-lone-climate-change-soldier-in-this-administrations-cabinet>
- ^{xii} Il dispose lui-même d'un *Deputy Assistant Secretary of Defense for Energy* : <https://www.acq.osd.mil/log/ENR/index.html>
- ^{xiii} https://climateandsecurity.files.wordpress.com/2019/01/sec_335_ndaa-report_effects_of_a_changing_climate_to_dod.pdf
- ^{xiv} Office of the CNO, *A Navy Energy Vision for the 21st Century*, Washington, US Navy, 2010.
- ^{xv} Voir infra.
- ^{xvi} <https://federalnewsnetwork.com/army/2019/09/army-deems-its-time-to-kick-its-addiction-to-oil-in-face-of-global-rivals/>
- ^{xvii} https://www.army.mil/article/230522/army_scientist_focues_on_biomass_to_energy_research
- ^{xviii} https://www.army.mil/article/230026/army_researchers_improve_next_generation_aircraft_engines
- ^{xix} T. Berthier et N. Mazzucchi, « Défense et changement climatique : quel modèle pour les armées de demain ? », *The Conversation* [en ligne], 15 décembre 2019 : <https://theconversation.com/defense-et-changement-climatique-quel-modele-pour-les-armees-de-demain-128641>
- ^{xx} <https://climateandsecurity.files.wordpress.com/2019/11/tradoc-2019.pdf>
- ^{xxi} R. Andres et H. Breetz, *Small Nuclear Reactors for Military Installations: Capabilities, Costs, and Technological Implications*, INSS Strategic Forum, Février 2011.
- ^{xxii} <https://www.darpa.mil/program/blue-wolf>
- ^{xxiii} <https://www.militaryaerospace.com/computers/article/16714204/darpa-blue-wolf-program-adds-boeing-and-lockheed-martin-for-military-undersea-vehicles-research>
- ^{xxiv} <https://www.darpa.mil/program/matrix>
- ^{xxv} Le programme ManTech du DoD est également lié à d'autres programmes fédéraux liés à l'énergie, sous l'égide du DoE, mais œuvrant à des applications militaires ; voir infra.
- ^{xxvi} National Academy of Sciences, National Academy of Engineering et Institute of Medicine, *Rising Above the Gathering Storm: Energizing and Employing America for a Brighter Economic Future*, Washington, The National Academies Press, 2007.
- ^{xxvii} <https://www.nrdc.org/experts/arjun-krishnaswami/doe-budget-dirty-energy-future>
- ^{xxviii} Sandia de son côté, étant donné son expertise sur les questions nucléaires civiles, a été un point d'appui technique important dans les tests d'installations nucléaires de petite taille sur les bases militaires. Sandia a notamment conduit pour l'Air Force une étude sur la faisabilité d'utilisation des vSMR sur certaines de ses bases ; voir B. Middleton et alii, *Assessment of Small Modular Reactor Suitability for Use On or Near Air Force Space Command Installations*, Albuquerque, DoE, 2015.

-
- xxix Argonne en particulier est responsable d'un programme de sécurité nationale dénommé *Energy for Maneuver* qui s'intéresse directement aux applications énergétiques militaires, à la fois dans le domaine des matériaux, du stockage et de la propulsion hypersonique : <https://www.anl.gov/nsp/energy-for-maneuver>
- xxx Plusieurs programmes de NREL sont directement liés aux préoccupations du DoD : résilience des systèmes énergétiques, stockage d'énergie et d'électricité, production d'électricité à partir de sources renouvelables et cyber-sécurité des systèmes électriques ; <https://www.nrel.gov/workingwithus/defense-partnerships.html>
- xxxix <https://reopt.nrel.gov/projects/case-study-military-base.html>
- xxxii <https://reopt.nrel.gov/projects/case-study-usag-italy.html>
- xxxiii Il n'est ainsi pas surprenant de trouver dans les partenaires fondateurs de l'institut tant des entités du DoE (Argonne, Sandia, NREL) que des acteurs de la défense (US Naval Research Laboratory, Raytheon, BAE, Lockheed-Martin) ; <https://poweramericainstitute.org/>
- xxxiv K. Larsen, *Unfolding Green Defense, linking green technologies and strategies to current security challenges in NATO and the NATO member states*, Copenhagen, Center for Military Studies – Université de Copenhague, 2015.
- xxxv <http://www.natolibguides.info/smartenergy/exercises>
- xxxvi <https://www.dst.defence.gov.au/projects/biofuelling-our-military-vehicles>
- xxxvii http://www.marina.difesa.it/cosa-facciamo/per-ambiente/flotta-verde/Pagine/1_Combustibili_alternativi.aspx
- xxxviii Soit autant que le Portugal dans son ensemble.
- xxxix Office of the Under Secretary of Defense for Acquisition and Sustainment, *Fiscal Year 2018 Operational Energy Annual Report*, Washington, DoD, 2019.
- xl <https://www.congress.gov/116/bills/hr2500/BILLS-116hr2500eh.pdf>
- xli Defense Science Board, *Task Force on Energy Systems for Forward/Remote Operating Bases*, Washington, DoD, 2016.
- xlii J. Vitali et alii, *Study on the Use of Mobile Nuclear Power Plants for Ground Operations*, Washington, Vice-chef d'état-major de l'US Army G-4, 2018.
- xliii <http://www.holosgen.com/>
- xliv A titre de comparaison, la base de Bagram a une demande capacitaire de 56 MW.
- xlv <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2019/11/f68/CX-020778.pdf>
- xlvi <https://www.defensenews.com/smr/nuclear-arsenal/2020/03/09/pentagon-to-award-mobile-nuclear-reactor-contracts-this-week/>
- xlvii <https://www.law.cornell.edu/uscode/text/10/2911>
- xlviii http://corpsmapu.usace.army.mil/cm_apex/cm2.cm2.map?map=disdi_re
- xlix <https://www.defense.gov/Explore/News/Article/Article/1143863/air-force-develops-new-deployable-energy-systems/>
- ⁱ 669,7 millions USD contre 317,7 millions USD en 2008 ; voir <https://www.defenseindustrydaily.com/emals-electro-magnetic-launch-for-carriers-05220/>
- ⁱⁱ <https://www.gao.gov/assets/690/685241.pdf>
- ⁱⁱⁱ <https://nationalinterest.org/blog/buzz/us-navy-railgun-dying-dream-43217>
- ⁱⁱⁱⁱ Depuis 2014, l'US Navy teste le AN/SEQ-3 Laser Weapon System sur un navire de classe *Arleigh Burke* avec succès, ce qui augure une probabilité d'emploi futur plus importante que pour les canons électromagnétiques. Les travaux de la DARPA sur le programme HELLADS portaient également sur la consommation énergétique du laser (150 kW) pour s'assurer que celui-ci puisse être embarqué sur des équipements ou des navires.
- ^{liv} Voir pour plus de détails, Philippe Gros, « Les armes laser – vers une entrée timide dans l'arène du combat naval à l'orée de la prochaine décennie », FRS, *Defense & Industries*, n°12, octobre 2018, p. 27.
- ^{lv} S. Littlefield et A. Nickens, « Roadmap for the all-electric warship », *Power magazine*, 2005 – <https://www.powermag.com/roadmap-for-the-all-electric-warship/>
- ^{lvi} Les premiers navires opérationnels à utiliser ce type de propulsion ont été les navires logistiques de classe *Lewis and Clark* (programme T-AKE) sur lesquels la propulsion électrique intégrée a permis de gagner un espace important permettant une capacité d'emport logistique plus grande qu'avec une propulsion diesel conventionnelle.
- ^{lvii} <https://www.gao.gov/assets/700/698933.pdf>
- ^{lviii} Et quelques années après dans d'autres armées de l'OTAN dont la Lituanie et la Slovénie.
- ^{lix} <https://oshkoshdefense.com/advanced-technologies/propulse/>
- ^{lx} Lire notamment Bradley Martin et alii, *Advancing Autonomous Systems- An Analysis of Current and Future Technology for Unmanned Maritime Vehicles*, RAND Corporation, RR2751, 2019.
- ^{lxi} <https://govtribe.com/opportunity/federal-contract-opportunity/polyplus-battery-company>
- ^{lxii} Voir infra.

-
- lxiii N. Mazzucchi, *Transition énergétique et numérique : la course mondiale au lithium*, Paris, Recherche et documents FRS 05/2018, 2018.
- lxiv Le DoD prescrit notamment des besoins en termes d'amplitude thermique extérieure de fonctionnement (de -30° à +55° C), ainsi que l'ensemble des besoins en termes de résistance aux chocs et de rusticité ; voir http://everyspec.com/MIL-PRF/MIL-PRF-030000-79999/MIL-PRF-32383_35531/
- lxv https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/06/f22/R27-AMO%20RD%20Project%20Peer%20Review%20Presentation-PolyPlus_2015.pdf
- lxvi GAO, *Batteries and Energy Storage: Federal Initiatives Supported Similar Technologies and Goals but Had Key Differences*, Washington, GAO, 2012.
- lxvii R. Silbergliitt, J. Bartiss et K. Brady, *Soldier-Portable Battery Supply, Foreign Dependence and Policy Options*, Santa Monica, RAND, 2014.
- lxviii <https://www.naval-technology.com/projects/ion-tiger-uav/>
- lxix <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/articles/us-department-energy-and-us-army-collaborate-develop-hydrogen-fuel-cell>
- lxx https://www.acq.osd.mil/eie/IE/FEP_CSC.html
- lxxi <https://www.energy.gov/articles/us-department-energy-us-department-homeland-security-and-us-department-defense-announce>
- lxxii US DoE, *Cybersecurity Strategy 2018-2020*, Washington, DoE, 2018 ; <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2018/07/f53/EXEC-2018-003700%20DOE%20Cybersecurity%20Strategy%202018-2020-Final-FINAL-c2.pdf>
- lxxiii <https://www.honeywell.com/en-us/honeywell-forge/our-solutions>
- lxxiv <http://www.ga.com/batteries-power-and-energy-systems>
- lxxv GA-EMS est en outre un acteur majeur du développement des technologies de nouvelle génération les plus énergivores comme les catapultes électromagnétiques des porte-avions de classe *Gerald Ford* ou les canons électromagnétiques ; d'où sa forte implication sur les questions de stockage d'électricité.
- lxxvi <http://www.ga.com/advanced-reactors>
- lxxvii <https://www.liquid-robotics.com/markets/defense-security/>
- lxxviii <https://news.usni.org/2016/04/07/stackley-rmmv-cusv-knifefish-will-all-play-a-role-in-lcs-minehunting-not-a-competition>
- lxxix Cette définition inclut les équipements de véhicules terrestres à destination militaire dont les batteries, les alternateurs et générateurs ainsi que les différents filtres pour huile et carburant.
- lxxx Cette définition inclut les piles à combustible utilisées dans le cadre militaire.
- lxxxi https://www.saftbatteries.com/download_file/6X7JMGAnv3Fm6HdmtEv%252B2gtlbZ1bRRVHkjS11M6md92GD2EF7vU%252F3Oybbz3WOIG%252BxR8srpA5iCdJ%252FV3lQzTVHQyiTucngZKEq9KkYCLkowAvqaG1huriRoOaRa8c4O18ApQzl3SGUxjSMW8W73xDBbXpRpR2m6XttEPGk%252F8Ql5F3HezImq%253D%253D/DefenseCapabilities_Brochure%2528final%2529.pdf