

NOTE (draft prépublication)

Note n° xxx/Consortium CONFLITS-2035
du xx octobre 2019
Marché n° 2017 1050 162 263
EJ court 180 004 69 93
notifié le 17 janvier 2018
réunion de lancement : 13 février 2018

Les dispositifs de défense passive dans les opérations présentes et futures

VINCENT TOURRET, THIBAUT FOUILLET, NATHALIE RUFFIE, PHILIPPE GROS

En partenariat avec



SOMMAIRE

| | |
|---|-----------|
| LISTE DES ABREVIATIONS | 5 |
| RESUME | 6 |
| INTRODUCTION | 7 |
| LE DEVELOPPEMENT DES PROCEDES DE DEFENSE PASSIVE : UNE REPONSE AUX PROGRES DE LA PUISSANCE DE FEU INDIRECTE ET AERIENNE, LE PRODUIT DU MILIEU URBAIN ... | 9 |
| 1 – LA MONTEE EN PUISSANCE DES CAPACITES DES TIRS INDIRECTS : DECLOISONNEMENT DES MENACES CONVENTIONNELLES ET IRRÉGULIÈRES..... | 9 |
| 1.1 – Les menaces par tirs indirects : tour d’horizon..... | 9 |
| 1.2 – Vers une augmentation de la menace des tirs indirects : de la maîtrise des munitions augmentées (irréguliers) à l’acquisition de la grande profondeur (réguliers). | 11 |
| 1.2.1 – Demain des frappes indirectes irrégulières à effets conventionnels..... | 12 |
| 1.2.2 – L’acquisition de la grande profondeur : un décloisonnement des menaces | 12 |
| 2 – LA PUISSANCE AERIENNE AU DEFI DES MUNITIONS PENETRANTES. | 13 |
| 2.1 – Détruire en profondeur : la faible efficacité des munitions pénétrantes | 13 |
| 2.2 – Le futur : l’accroissement tout relatif de la pénétration par la masse, la vitesse et les nouveaux matériaux | 14 |
| 3 – LA VILLE, L’ULTIME PLACE-FORTE. | 16 |
| 3.1 – Le milieu urbain, théâtre d’opération dominant du XXI^e siècle ? | 16 |
| 3.2 – L’effet « bocage » de la géométrie urbaine : un environnement compartimenté et opaque à l’avantage du défenseur | 17 |
| LES INFRASTRUCTURES DEFENSIVES, ENTRE LEUR RENFORCEMENT ET LEUR ENFOUISSEMENT : TENDANCES ACTUELLES | 19 |
| 1 – LA PROTECTION DES INFRASTRUCTURES CRITIQUES..... | 19 |
| 1.1 – Les HBT stratégiques, une exigence régulièrement confirmée..... | 19 |
| 1.2 – La protection des bases aériennes de théâtre en question..... | 21 |
| 2 – L’APPUI GENERAL A LA FORCE : LA FOB, UN ARTEFACT DE LA CONTRE- INSURRECTION APPELE A DURER ? | 23 |
| 2.1 – La protection de la force, condition de l’engagement extérieur et source d’hypertrophie des fortifications de campagne..... | 23 |

| | |
|---|-----------|
| 2.2 – Des installations condamnées à l'alourdissement de leur protection au risque de l'obsolescence. | 24 |
| 3 – LE RENOUVEAU DE LA GUERRE SOUTERRAINE | 26 |
| 3.1 – L'émergence de la menace souterraine à la confluence de la protection et de l'appui direct à la manœuvre | 26 |
| 3.2 – Les contre-mesures mises en place par les armées conventionnelles : les cas israélien et américain | 28 |
| 3.2.1 – La prise en compte et le changement de perception de la menace souterraine par les armées | 28 |
| 3.2.2 – La dimension enterrée pour les armées : entre formation et recherche de moyens de destruction | 29 |
| RECOMMANDATIONS | 31 |
| ANNEXES | 35 |
| REFERENCES | 39 |

Liste des abréviations

| | |
|----------|---|
| AWG : | Asymmetric Warfare Group |
| BRAC : | Base Realignment and Closure |
| BTP : | Bâtiments et Travaux Publics |
| DARPA : | Defense Advanced Research Projects Agency |
| DIA : | Defense Intelligence Agency |
| EEL : | Engin Explosif Improvisé |
| FOB : | Forward Operating Base |
| GEOINT : | Geospatial Intelligence |
| GPS : | Global Positioning System |
| GTIA : | Groupement Tactique Interarmes |
| HBT : | Hard and Buried Targets |
| HIPPO : | Hardened Infrastructure Protection for Persistent Operation |
| HSPOT : | High Speed Ordnance Penetrator |
| ICBM : | Intercontinental Ballistic Missile |
| ITTBM : | Improvised tracked Tunnel-Boring Machine |
| JDAM : | Joint Direct Attack Munition |
| JFOB : | Joint Forward Operations Base |
| Mhz : | Mégahert |
| MOAB : | Massive Ordnance Air Blast |
| MOP : | Massive Ordnance Penetrator |
| NRBC : | Nucléaires, Radiologiques, Biologiques, Chimiques |
| ONU : | Organisation des Nations Unies |
| OTAN : | Organisation du traité de l'Atlantique Nord |
| PC : | Poste de Commandement |
| Psi : | pound per square inch |
| R&D : | Recherche & Développement |
| SIG : | Système d'Information Géographique |
| VBIED : | Vehicle Borne Improvised Explosive Devices |

Résumé

Le renouveau de l'intérêt pour les procédés de défense passive est l'une des conséquences du retour annoncé de la haute intensité sur les théâtres d'opération. La perspective d'un engagement à la fois soumis à des moyens d'interdiction hostiles et confronté à des environnements dégradés semble acter la fin d'une certaine forme de « confort opératif » qui caractérisait encore il y a peu nos interventions extérieures depuis la fin de la guerre froide. Désormais la croissance de la puissance de feu, dans sa précision et son élongation, vaut tout autant pour les armées régulières que pour les groupes irréguliers dont la gamme des moyens bénéficie de plus en plus de sponsors internationaux. La menace est ainsi particulièrement critique sur son segment balistique avec le déploiement de roquettes et de missiles lourds par nos adversaires. La puissance aérienne ensuite, dont la réactivité et les munitions guidées lui avaient assurée la suprématie, voit son déploiement confronté à l'obstacle de l'A2/AD et son efficacité contestée face aux complexes enterrés. Enfin, l'incidence grandissante du combat en milieu urbain, véritable système de fortifications par sa géométrie confinée et compartimentée, rend les opérations extrêmement statiques et attritionnaires, en porte-à-faux avec l'empreinte légère et la recherche de mobilité de notre modèle de force. La Défense passive, itération moderne des stratégies de fortification sur l'ensemble du spectre, va des ouvrages massifs des centres de commandements enfouis à l'aménagement du terrain en appui de la manœuvre. Elle incarne ainsi une des solutions pour assurer la protection de la force et la sauvegarde de son potentiel de combat. Cette étude se propose d'en établir l'état des lieux après le désinvestissement relatif de l'après-guerre froide et d'établir des recommandations pour la renforcer ou au contraire vaincre celle de l'adversaire.

Introduction

Dans son acception française, la notion de défense passive a été historiquement liée aux dispositifs de protection face aux risques NRBC. Elle n'est ainsi souvent évoquée en tant que telle dans la doctrine qu'au travers de la défense civile¹, de la protection biologique du combattant² et de la lutte contre la prolifération³. Cette définition coexiste cependant avec celle de l'OTAN qui reprend le manuel de ciblage interarmées américain JP 3-60⁴. La défense passive y est comprise comme l'ensemble des contre-mesures dénuées d'intention ou de caractéristiques offensives pour atténuer les effets de la puissance des feux conventionnels. Elle recouvre ainsi à la fois le concept de protection des forces, c'est-à-dire l'ensemble des voies et moyens, hors actions de combat, pour minimiser la vulnérabilité du personnel, des installations, du matériel, des opérations, et celui de sauvegarde du potentiel de combat, soit toutes les mesures qui contribuent à la préservation de l'intégrité morale et physique de la force, notamment en ce qui concerne la sécurité de ses approvisionnements et son autonomie opérationnelle⁵. En d'autres termes, la défense passive incarne la nouvelle itération des stratégies de fortification dans ses deux modes principaux que sont **l'enfouissement** et le **durcissement** des infrastructures ou positions de combat. Elles sont accompagnées des mesures de sécurité opérationnelle qui accroissent leur efficacité, que sont la **dissimulation**, le **camouflage** et la mise en place de **systèmes d'alertes avancés**.

Rendues en partie obsolètes par l'accroissement continu de la puissance et de la portée des feux indirects, voire frappées d'opprobre par l'attentisme qu'elles favoriseraient tant dans la guerre conventionnelle que dans les opérations de contre-insurrection où elles entretiendraient l'isolement des troupes vis-à-vis de la population, les fortifications, lourdes et coûteuses, furent réservées à la protection des infrastructures critiques telles que les centres de commandement, les vecteurs stratégiques et leur logistique. La fin de la guerre froide, combinée à la *maestria* aérienne de l'opération *Desert Storm*, si elles entraînent la mise en sommeil de nombreux complexes souterrains avec la fin d'une menace de grande ampleur sur les territoires nationaux des puissances occidentales, vit *a contrario* leur essor au sein d'États tels que la Chine, la Corée du Nord, l'Iran et un renouveau en Russie. Deux rationalités principales ont été à l'œuvre et continuent de l'être : d'une part une rationalité opérationnelle par la recherche classique de crédibilité d'une seconde frappe, NRBC ou non, en « couvrant » les vecteurs vulnérables ; d'autre part, une rationalité politique à travers la volonté de dissimuler des capacités ou des programmes d'armements « sensibles » voire illégaux au regard des engagements internationaux, et notamment du traité de non-prolifération nucléaire.

Ce développement des fortifications ne se limite plus cependant au haut du spectre des capacités comme dans la dernière partie du siècle passé. Tout d'abord, l'usage des sous-sols a été pleinement maîtrisé par les groupes insurgés dont les souterrains

reproduisent, de façon sommaire, les fonctions évoquées plus haut : C2, base de lancement de vecteurs balistiques, artères logistiques, etc. Surtout, avec la croissance, depuis une vingtaine d'années, des besoins logistiques en opérations extérieures et de contrôle des populations propres aux opérations de contre-insurrection, ont été remises au goût du jour les fortifications de campagne dont les *Forward Operating Bases* sont l'incarnation la plus emblématique. Enfin, l'aménagement systématique du terrain, avec des altérations plus ou moins éphémères de l'environnement opérationnel, a regagné en importance par l'aggravation des combats en milieu urbain, dense et compartimenté, marquée par le retour de la guerre de siège.

Il devient ainsi urgent d'établir un état des lieux des pratiques et techniques de la défense passive pour les défis qu'elle représente en termes d'identification des menaces et la résilience qu'elle leur procure ainsi que pour les opportunités qu'elle offrirait pour assurer la protection de nos forces dans un contexte où le feu tendrait à primer à nouveau sur la mobilité. Aux **facteurs contribuant au réinvestissement des procédés de défense passive**, à savoir les progrès constants des feux indirects, de l'efficacité perçue des effecteurs aériens et la prépondérance du combat urbain (I) répondront les **développements observés en termes de durcissement et d'enfouissement des infrastructures**, et ce, des installations de rang stratégique de type C2 endurcis aux positions de combat les plus éphémères (II). De cet exposé, plusieurs **recommandations** seront proposées selon la configuration de la défense passive rencontrées : comme obstacle à l'offensive ou comme procédés intégrés à notre défense (III).

Le développement des procédés de défense passive : une réponse aux progrès de la puissance de feu indirecte et aérienne, le produit du milieu urbain

Le recours à des protections lourdes, physiques, relève de la dialectique traditionnelle entre le feu et le mouvement. Le besoin actuel d'un renforcement de la défense passive semble ainsi aujourd'hui être la résultante des deux tendances : la nécessité de se protéger contre des capacités de tirs indirects qui montent en puissance et contre la puissance aérienne, déterminante mais aux effets géologiquement superficiels, et enfin l'importance croissante du milieu urbain comme théâtre d'opération.

1 – La montée en puissance des capacités des tirs indirects : décroisement des menaces conventionnelles et irrégulières

La notion même de défense passive implique l'adaptation de structures et procédures à une menace. La plus courante réside dans la prise en compte des tirs indirects :

- ➔ Par l'irrégulier : procédé le plus économique pour provoquer des dégâts en situation de rapport de force négatif⁶.
- ➔ Par une force conventionnelle : vecteur privilégié d'action dans la profondeur tactique ou de destruction de cibles protégées, en tant que moyen opérant malgré les dénis d'accès et à cadence de tirs élevés pour des risques faibles (moindre vulnérabilité que les moyens aériens).

1.1 – Les menaces par tirs indirects : tour d'horizon.

La catégorie des tirs indirects est étendue puisque si l'on s'attache à la définition stricte, est indirect le tir qui est effectué au-delà de la zone de contact, englobant toutes les armes du mortier à l'ICBM. Néanmoins nous nous attacherons aux dimensions terrestres des feux indirects puisque menaces les plus couramment opposées aux forces françaises ; correspondant peu ou prou aux moyens de type artillerie.

La menace artillerie se fonde alors sur quatre vecteurs développant des effets particuliers⁷ :

| | Forces Conventionnelles | Forces irrégulières |
|----------|---|--|
| Mortiers | <p>120mm (les 82 mm étant dévolus aux unités d'infanterie) : effets sur 25-50 m avec pour les matériels français une portée maximale de 8km, et pour vecteurs étrangers (notamment russes) de 10 km</p> | <p>60mm (fabrications artisanales) : effets proches d'une grenade à fusils (10 m), portée maximale de 2 km</p> <p>82mm : souvent dérivés du système soviétique 2B9, effets 25 m pour portée maximale de 5 km</p> |
| Canons | <p>Uniformisation dans l'utilisation de vecteurs de 155 mm⁸ : usage de deux types de munitions : classiques (zone d'éclats de 100m mais effets limités) et augmentées : soit dans la portée et la précision par le guidage, soit dans les capacités de destruction.</p> <p>Munitions classiques : portée maximale 20 km, volume de feu estimé pour la destruction d'un peloton de chars : 96 coups</p> <p>Munitions guidées : portée maximale 35 km (CAESAR avec munition à effet augmenté Bonus ; 40 km pour munitions russe Krasnopol D en développement)</p> <p>Munitions à effets augmentés : volume de feu estimé pour la destruction d'un peloton de chars 12 coups avec Bonus</p> | <p>Utilisation majeure des systèmes 122mm soviétiques : tractés (canons) ou moteurs (obusiers) : systèmes 2S1 et D30 : zone létale de 50 m et portée comprise (selon la maîtrise des irréguliers) entre 10 et 15 km⁹</p> |
| LRM/LRU | <p>Valorisation pour les armées non-européennes des LRM du fait de leur possibilité de saturation du champ de bataille (pas la France puisque signataire de la convention d'Oslo d'interdiction des armes à sous-munition : passage exclusif depuis 2011 aux LRU)</p> <p>Roquette de 330 mm : Portée pour les lanceurs français et américains jusqu'à 70 km, précision métrique et grande capacité de destruction (munition M31) ; pour les lanceurs russes de</p> | <p>Vecteurs rares mais utilisation possible : modèle rencontré LRM soviétique BM-30 : portée pratique 30 km par manque de capacités de guidage au-delà : efficace contre les structures légèrement durcies</p> |

| | | |
|--|---|--|
| | 70 km (gamme 9M55 et variantes) à 90 km (gamme 9M528) | |
| Missiles tactiques sol-sol¹⁰ | Les systèmes sol-sol mis en œuvre par l'artillerie sont ceux opérant dans la zone des 100-150 km : précision décamétrique par le guidage GPS et pouvoir de destruction à même de percer des structures durcies moyennes et des éléments fortement blindés | Peu d'usage par les irréguliers : non-possession ou incapacité à les utiliser par non-maitrise du guidage, effets, usage des vecteurs... |

En exploitant ces données techniques, on peut fournir un bilan des effets et menaces des tirs indirects contemporains sur les forces :

- ➔ **Une menace irrégulière faible** : la non-maitrise des caractéristiques des munitions augmentées (guidage, augmentation des effets), la faible utilisation des vecteurs d'artillerie et LRM, par manque de capacités techniques et de moyens impliquent que les actions de tir indirect des acteurs irréguliers ont général des effets limités. Les vecteurs roquettes, mortiers et canons peuvent constituer, il est vrai, une menace contre les sites fixes mais, pour les troupes de contact, la protection face à ces moyens est réalisée aisément par le recours aux transports blindés et par la mobilité ;
- ➔ **Une menace conventionnelle majeure** : A l'inverse, la menace conventionnelle¹¹ est critique. La précision par guidage permet une action à longue portée directement sur des ensembles logistiques non-protégés, l'augmentation des effets permet la destruction (et donc la menace) même des éléments considérés comme actuellement protégés¹², la dotation en munitions à charges multiples et à trajectoire modulable permet de contourner la mobilité/dispersion et de certifier l'atteinte de l'objectif (cas des Roquettes GMLRS cargo américaines¹³). C'est donc tout le spectre de défense passive qui est impacté par la menace conventionnelle des tirs indirects de courte et moyenne portée.

1.2 – Vers une augmentation de la menace des tirs indirects : de la maîtrise des munitions augmentées (irréguliers) à l'acquisition de la grande profondeur (réguliers).

Pour tout système de forces, régulier comme irrégulier, accroître la menace artillerie se traduit par un développement des portées pour accroître le nombre de cibles menacées, une augmentation des effets pour accroître les dommages, et un accroissement de la précision pour éviter une interception par les éléments passifs ennemis ou manquer la cible.

1.2.1 – Demain des frappes indirectes irrégulières à effets conventionnels

Par la dissémination des technologies et des savoir-faire du fait de l'obsolescence des programmes dans les forces conventionnelles¹⁴, comme de la simplification de l'usage des armements du fait de la numérisation, le passage des irréguliers à la maîtrise des munitions augmentées est à prévoir. Bien entendu, un différentiel de puissance et plus encore de capacités de ciblage sera toujours présent entre les forces conventionnelles (particulièrement des grandes puissances) et les irréguliers. Cependant un véritable passage de cap dans la menace est à envisager par la maîtrise des quatre ensembles que sont des capacités de ciblage élémentaires, la précision¹⁵, la puissance, et l'allongement des portées, rendant la menace irrégulière à horizon 2035 similaire (en termes de menace potentielle) aux développements conventionnels actuels.

Par conséquent les forces irrégulières seront capables de projeter une menace que ne peuvent pas contrer des éléments non-durci et non-dispersés, impliquant de repenser la protection des forces fixes (logistique de l'avant, vecteurs artillerie, durcissement des FOB) et d'accroître la mobilité et les procédures des éléments de manœuvre.

1.2.2 – L'acquisition de la grande profondeur : un décroisement des menaces

La domination par l'artillerie conventionnelle de l'ensemble de l'espace des opérations terrestres, bien qu'engagée, n'est pas encore réalisée dans son intégralité. Pour ce faire, il faut que les feux indirects de type artillerie puissent opérer aux portées opératives et stratégiques, c'est-à-dire agir en complément des actions aériennes et maritimes ce vers quoi tend l'artillerie à moyen-long terme (horizon 2040), dans une perspective multi-domaines. La fin du traité FNI laisse augurer à moyen terme des développements capacitaires sur la courte portée (< 1000 km)¹⁶. Le dépassement de fonction ainsi réalisé rendra possible une menace des feux indirects sur l'ensemble des troupes de théâtre, des engagements micro-tactiques de contact aux structures de C2 de niveau stratégique, par l'affranchissement des barrières de distance. C'est donc l'ensemble des forces qui devront être concernées par un développement des capacités de défense passives, directes (durcissement, blindage) comme indirectes (mobilité, procédures de dispersion et d'alerte), et non-plus seulement les éléments tactiques. Cependant, la condition centrale de l'efficacité de ces nouvelles capacités réside dans la capacité de ciblage afférente. Cette dernière va elle-aussi probablement évoluer au moins dans la profondeur tactique sous l'effet de la diffusion des drones (déjà actée) et de la disponibilité des ressources d'imagerie spatiale. Bien entendu, un ciblage d'opportunité sur ces grandes distances est et restera hors de portée de la plupart des acteurs mais il est possible sinon probable, que ces moyens ISR, s'ils sont bien exploités, contribueront à la diffusion d'une capacité de frappe de relative précision en ciblage à temps.

Cette analyse sera détaillée à l'occasion de la note n°12 de cet observatoire portant sur les feux dans la profondeur.

2 – La puissance aérienne au défi des munitions pénétrantes.

Il n'est ici nul besoin de redévelopper l'efficacité de la puissance aérienne contre les forces terrestres tant en interdiction qu'en appui des forces de surface amies. Les Occidentaux l'ont poussé à son paroxysme ces dernières décennies et sont aujourd'hui (partiellement) émoulsés par un nombre croissant de puissances. Or s'il est un domaine où la puissance aérienne peine à faire sentir ses effets, c'est bien celui de la pénétration des aménagements souterrains.

2.1 – Détruire en profondeur : la faible efficacité des munitions pénétrantes

Les effets contre les structures durcies et enfouies ou HBT (*Hard and buried Targets*) dépendent de multiples facteurs liés à l'environnement (nature et configuration du sol, de l'infrastructure) et des tactiques utilisées. Ils restent cependant tributaires des trois caractéristiques de l'arme : tout d'abord sa précision, ensuite sa vitesse d'impact et sa masse qui produisent l'énergie cinétique gage de sa pénétration, enfin sa puissance explosive. En théorie, les scientifiques considèrent que la vitesse d'impact maximale d'une munition air-sol classique actuel avec pénétrateur en acier, comme la BLU-109 américaine qui équipe les GBU de 907 kg (JDAM et autres), serait d'environ 1 Km/sec, ce qui permettrait au grand maximum une pénétration de quatre fois la longueur de l'arme dans du béton armé, soit environ 10 mètres. Dans la pratique, cependant, la vitesse terminale et la solidité structurelle de l'arme induisent des profondeurs maximales de pénétration nettement inférieures¹⁷. Ainsi, celles de la BLU-109 et de la BLU-113 "Bunker Buster" de la GBU-28 de 2,1 t élaborée pour la guerre du Golfe, seraient respectivement de 1,8 à 2,4 m et de 6 mètres (ou 30 mètres de terre)¹⁸.

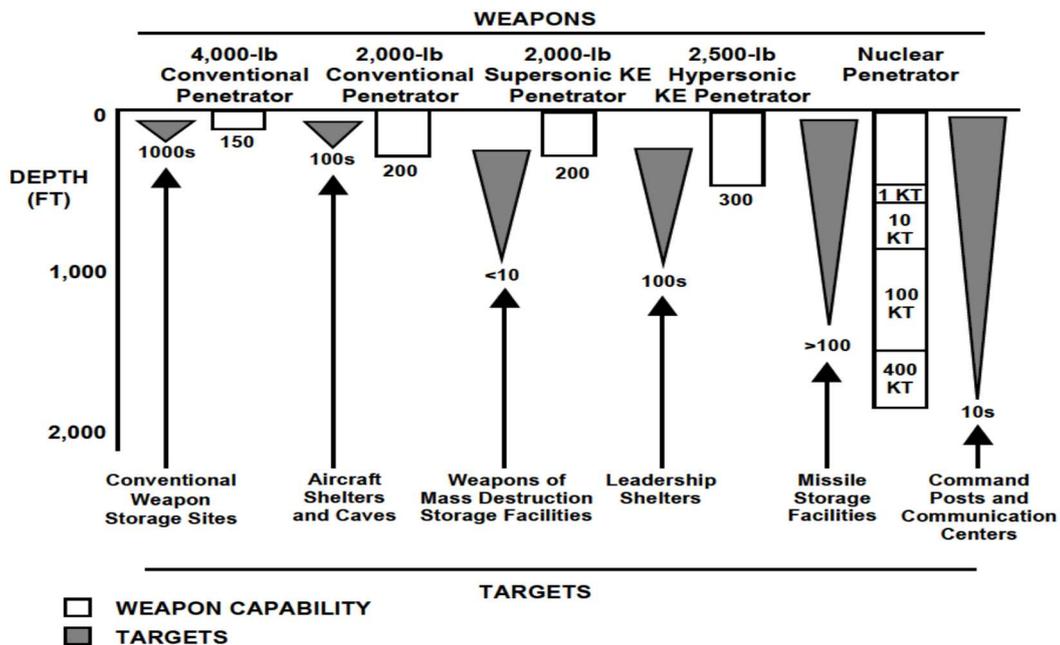
| Penetrating Warheads | | | | |
|-------------------------|-----------|-----------------|------------------------------|---------------------------------------|
| Designation | Mass [lb] | Filler [lb] | Guidance Kit / Munition | Penetration Performance |
| BLU-109/B Have Void | ~2,000 | PBNX-109 | GBU-24, GBU-27, GBU-31 JDAM | 6 ft reinforced concrete |
| BLU-116/B AUP | ~2,000 | AFX757/PBXN-110 | GBU-24, GBU-27, GBU-31 JDAM | 8-12 ft reinforced concrete |
| BLU-118/B | ~2,000 | Thermobaric | GBU-24, GBU-27, GBU-31 JDAM | 6 ft reinforced concrete |
| BLU-113/B | ~5,000 | Tritonal | GBU-28/EGBU-28 | Undisclosed |
| BLU-122/B (BLU-113 PPI) | ~5,000 | AFX757/PBXN-110 | EGBU-28C/B | 18 ft reinforced concrete |
| SDB | ~208 | Undisclosed | GBU-39/B Small Diameter Bomb | 6 ft reinforced concrete |
| WDU-42/B / J-1000 | ~1,000 | AFX-757 240 lb | AGM-154 JSOW, AGM-158 JASSM | Undisclosed |
| WDU-34/B | ~1,000 | Undisclosed | RGM-109H Block IV TTPV | Undisclosed |
| AUP-3M | ~1,200 | AFX757/PBXN-110 | AGM-86D/E Block I/III CALCM | 12 ft reinforced concrete |
| KAB-500 | ~840 | Undisclosed | KAB-500Kr/L/S/S-E | Undisclosed penetration/blast |
| KAB-1500 | ~2,450 | Undisclosed | KAB-1500L-Pr | 30 ft soil + 6 ft reinforced concrete |

Table 1. US and Russian Penetrator Warheads.

Dr. Carlo Kopp, « Hardening RAAF Air Base Infrastructure », *Air Power Australia*, 5 février 2008.

La portée de destruction dépend ensuite de la racine cubique de la puissance de l'explosion et de la nature plus ou moins dure du sol qui répercute l'onde de choc. Pour

ces têtes américaines classiques, sur un sol granitique, cette portée se situerait entre 14 m (pour une BLU 109) et 18 m (pour un missile Tomahawk, mais la cinématique de l'arme ne la prédispose pas ce type d'attaque à la verticale de l'infrastructure). Au final, une infrastructure enterrée sous plus de 20 mètres de roche dure ou 60 mètres de terre meuble ne peut donc être détruite par ces armes¹⁹. Certes, les planificateurs compensent ces faiblesses par des frappes répétées sur le même point ou en ciblant les points de vulnérabilité (portes, bouches d'aération, sources d'énergie, etc.) de ces complexes souterrains mais cela suppose que ces points soient identifiables et que l'effet recherché s'accommode de ce ciblage indirect. Les opérations du début du millénaire en Afghanistan et en Irak ont montré toutes les limites de ces munitions. A noter que ces limitations sont du même ordre pour les missiles balistiques, comme par exemple les DF-15 que Pékin pourrait destiner à une attaque sur Taiwan où nombre d'infrastructures critiques sont également enterrées, hors d'atteinte de la Force des missiles stratégiques.

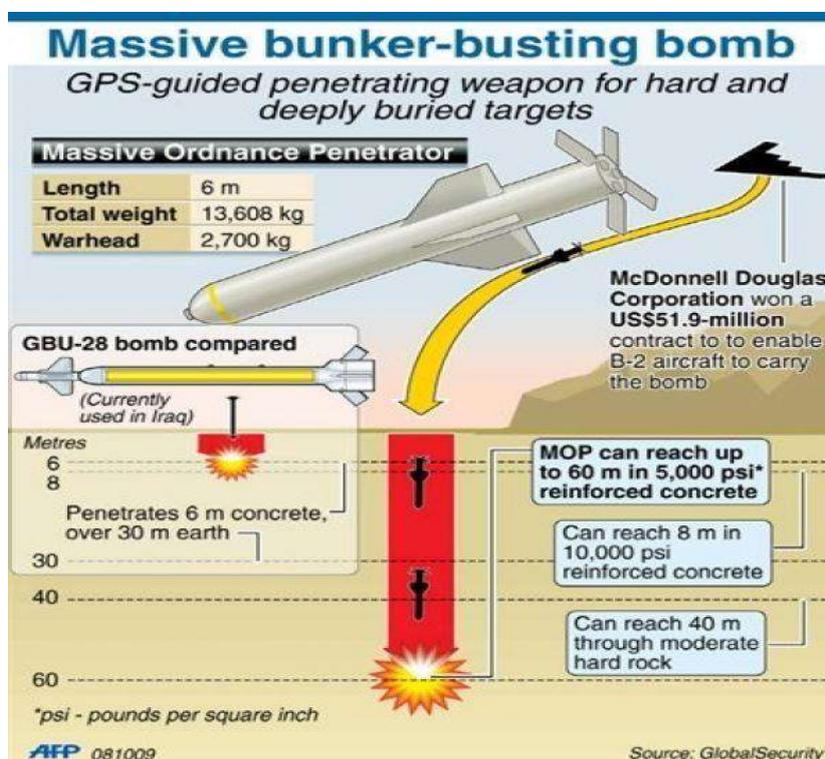


Source : United States Air Force Scientific Advisory Board, *Report on Why and Whither Hypersonics Research in the US Air Force*, SAB-TR-00-03, December 2000, p.21

2.2 – Le futur : l'accroissement tout relatif de la pénétration par la masse, la vitesse et les nouveaux matériaux

Les Américains ont donc lancé dans les années 2000 le développement d'une feuille de route HBT. Elle comprend pour le court terme la GBU-57/B *Massive Ordnance Penetrator* (MOP) de plus de 13,6 tonnes, avec une tête de 2,7 tonnes, embarquée sur B-2. Elle est en mesure de pénétrer 40 m de roche modérément dure ou 60 m de béton peu armé...mais seulement 8 m du béton armé le plus dur. Sa puissance explosive n'est

pas connue mais on peut envisager par comparaison avec celles données pour les armes existantes, qu'elle dépasse largement les 20 mètres. L'arme, qui rentre en service actuellement, permettra donc à l'USAF d'atteindre toute une nouvelle catégorie de HBT (sites C2, stockage de missiles, etc.) situées dans les 60-80 mètres de profondeurs.



Brian Wang, « A hundred super ground penetrator bombs might be needed to reach deep bunkers using superconcrete », *Next Big Future*, May 22, 2016

Pour le moyen terme, les Américains mise sur la vitesse. Cependant, le projet de *High Speed Ordnance Penetrator* (HSPOT) propulsé consiste surtout à « démocratiser » la puissance de pénétration de la BLU-113 en la conférant aux successeurs des BLU-109/118 que peuvent emporter l'ensemble des appareils tactiques comme le F-35. La littérature évoque bien entendu la marge de capacité de pénétration supplémentaire que pourraient apporter les fameux missiles hypersoniques. Elle est en réalité assez réduite. La limite structurelle actuelle des 1 à 1,5 km/sec des pénétrateurs évoquée ci-dessus correspond en effet à la vitesse terminale que l'on prête aux armes hypersoniques à planeur. Or les armes de théâtre en cours de développement (aux Etats-Unis et peut-être en Chine) n'auront probablement que des têtes de quelques centaines de kg, ce qui limite leur capacité de pénétration en deca des 10 mètres et offre une puissance explosive réduite. Ces armes ne garantissent donc pas une capacité anti-HBT supérieure aux pénétrateurs actuels²⁰.

A plus long terme, les Américains travaillent donc sur des têtes plus résistantes en mesure d'exploiter l'accroissement des vitesses terminales pour pourraient atteindre ces missiles hypersoniques et reposant sur les nouveaux matériaux permettant de renforcer la solidité des armes (céramique, nanomatériaux à base de diamant, etc.).²¹

Reste enfin le facteur essentiel de la puissance explosive de l'arme. Si là encore, des progrès seront certainement réalisés en matière d'explosif conventionnel, les gains capacitaires seront limités en ce qui concerne la destruction de ces HBT. La question principale est ici donc celle du nucléaire. Seules les têtes les plus puissantes, de plusieurs centaines de KT, associées à des pénétrateurs de quelques mètres et à une précision suffisante représentent une menace suffisante pour des HBT enfouis à plusieurs centaines de mètres.

Les forces aériennes sont donc en mesure de défaire le plus grand nombre des protections tactiques mais resteront encore longtemps, du moins dans leurs projections conventionnelles, incapables « d'écorcher » suffisamment la surface pour exercer des effets sur des installations profondément enfouies. L'enterrement reste donc un gage de survie.

3 – La ville, l'ultime place-forte.

Depuis l'antiquité, l'édification de fortifications est liée à la défense des villes jusqu'à parfois être à leur origine par la sécurité relative qu'elle procurait à la population. La bataille urbaine se jouait ainsi sur ses périphéries par la conquête de ses approches et ceintures fortifiées. Elle se traduisait rarement par des combats en son sein même, en raison de sa densité structurelle et démographique, freins à la manœuvre et écrans à la puissance de feu. Ces mêmes caractéristiques redoutées par les armées conventionnelles en ont cependant fait cependant un système défensif tout indiqué pour des forces en situation d'infériorité numérique ou technologique, notamment aujourd'hui pour les groupes irréguliers. Si la « ville-piège » a toujours existé, la véritable rupture tiendrait alors au caractère incontournable du combat urbain pour remporter la bataille urbaine, rendu nécessaire par l'avènement de la problématique militaire des *Mégacités*²² et le développement de *guérillas* urbaines viables.

3.1 – Le milieu urbain, théâtre d'opération dominant du XXI^e siècle ?

Pressé par l'incidence et l'intensité croissante des combats menés au cœur des agglomérations depuis les années 1990, le débat sur une intervention souhaitable ou non en milieu urbain s'articule actuellement autour de deux interrogations, à savoir l'avènement d'une nouvelle ère urbaine incarnée par le concept de *mégacité* et celui de la pérennité de la guerre au sein des populations.

La problématique des opérations dans la *mégacité*, soit les centres urbains de plus de 10 millions d'habitants, est introduite par un rapport de 2004 de l'*Army*²³. Le terme incarne à la manière américaine tout à la fois un concept à visée paradigmatique pour susciter idées et innovations²⁴, et une proposition à visée programmatique en posant la question du développement d'unités²⁵ et d'équipements dédiés²⁶. Son argument est celui du gigantisme à l'horizon 2050. La croissance de la population urbaine à savoir 65

millions d'habitants par an en moyenne, dont 90% s'effectue en Asie et en Afrique selon l'ONU²⁷, n'incarnerait pas seulement un changement d'échelle aggravant les besoins de gouvernance de ces collectivités mais bien une révolution « post-métropolitaine »²⁸ les rendant potentiellement hors-de-contrôle, soit à la façon de « métropoles barbares »²⁹ minées par les inégalités et violences de toute nature, soit à la façon de *smart cities* trop vastes et connectées pour être efficacement circonscrites. L'isolation de l'adversaire urbain suivi de son anéantissement, séquence opérative traditionnelle de la reconquête des centres urbains, deviendrait alors tout simplement impossible alors que, désormais omniprésente, la ville forcerait l'intervention directe en son sein³⁰.

La problématique de la pérennité du combat au sein des populations s'adresse finalement à celle de l'identification de l'ennemi probable et l'intégration des centres urbains à sa stratégie. Les combats majeurs menés dans les villes depuis la fin de la guerre froide se sont jusqu'ici inscrits sans exception contre des adversaires irréguliers (Sarajevo, Grozny, Falloujah, Bagdad, Mossoul, etc.) qui font de la lutte à mort dans les villes un objectif en soi, tant pour ses retombées symboliques et la radicalisation des populations que parce qu'elle offre un refuge à la supériorité des feux dont bénéficient les armées conventionnelles. Si la bataille de Mossoul représente ainsi le parangon des *guérillas* urbaines à venir avec des combats de plusieurs mois, l'engagement de moyens lourds et une destruction quasi-totale de la ville³¹, la montée en puissance du crime organisé illustré par les événements survenus à Culiacán³² constitue une autre source d'inquiétude : celle d'un crime organisé territorialisant.

3.2 – L'effet « bocage » de la géométrie urbaine : un environnement compartimenté et opaque à l'avantage du défenseur

La ville comme champs de bataille pourrait s'apparenter à une longue série d'opérations de bréchage successives, tant sa densité structurelle compartimente l'espace facilitant les manœuvres de retardement ou de barrage de l'adversaire. L'espace ainsi confiné réduit d'autant l'inter-visibilité et dégrade significativement les moyens de communication entre unités et entre échelons opérationnels. A titre d'exemple, les services de géolocalisation et par conséquent de désignation des cibles ou des forces alliées (*blue force tracking*) par systèmes satellitaires de type GPS sont bien souvent bloqués par la hauteur des infrastructures ; les fréquences radios de bande haute à très haute (de 30 à 3000 Mhz) ne fonctionnent qu'en cas de visée directe entre récepteur et émetteur, rendant complexe la bonne utilisation des liaisons de données tactiques³³. Les combats sont de fait menés à très courte portée, de l'ordre des 100 mètres en moyenne, plongeant les forces dans une situation d'imbrication tactique avec l'ennemi qui rend malaisés les appuis aériens ou d'artillerie³⁴. Espace tridimensionnelle enfin : sous-sol, sol, sur-sol, le feu adverse est omnidirectionnelle et la manœuvre adverse résolument non-linéaire, lui permettant de tendre des embuscades ou d'opérer des encercllements en réinvestissant des quartiers jugés sécurisés. Enfin, la résilience des infrastructures civiles, pouvant de plus abriter des niveaux souterrains peuvent être importantes, de l'ordre des 13 000 psi (89,6 MPa)³⁵ à 18 000 psi (124,1 MPa) pour le béton renforcé de certaines structures et ainsi réserver quelques surprises à l'assaillant.

A titre de comparaison, les niveaux de résistance du béton utilisés dans les évaluations américaines des munitions pénétrantes sont établis entre 5000 (34,4 MPa) et 10 000 psi (68,9 MPa)³⁶.

La ville, comme système de fortification adverse, met ainsi en défaut les deux piliers de la suprématie conventionnelle : la synergie interarmées et la maîtrise du combat interarmes qu'elle découple dans ses méandres. Dans le contexte occidental, elle rend d'autant plus difficile une intervention par les effectifs importants qu'elle requiert, d'abord pour l'isoler de ses bases-arrières logistiques, ensuite pour permettre la progression dans la ville elle-même qui impose de mener de front la *three block-wars* annoncée par le général des marines Charles Krulak³⁷. Tout en menant un combat de haute-intensité, la force militaire assaillante doit à la fois assurer l'ordre public des quartiers libérés et assumer la gestion humanitaire des populations. Cette difficulté a alors rendu la guerre de siège à nouveau attractive pour des acteurs moins scrupuleux des vies civiles et bénéficiant de la supériorité dans le segment des tirs à distance de sécurité. La guerre civile en Syrie a ainsi vu la pratique être généralisée par le régime de Bachar al-Assad.

Les infrastructures défensives, entre leur renforcement et leur enfouissement : tendances actuelles

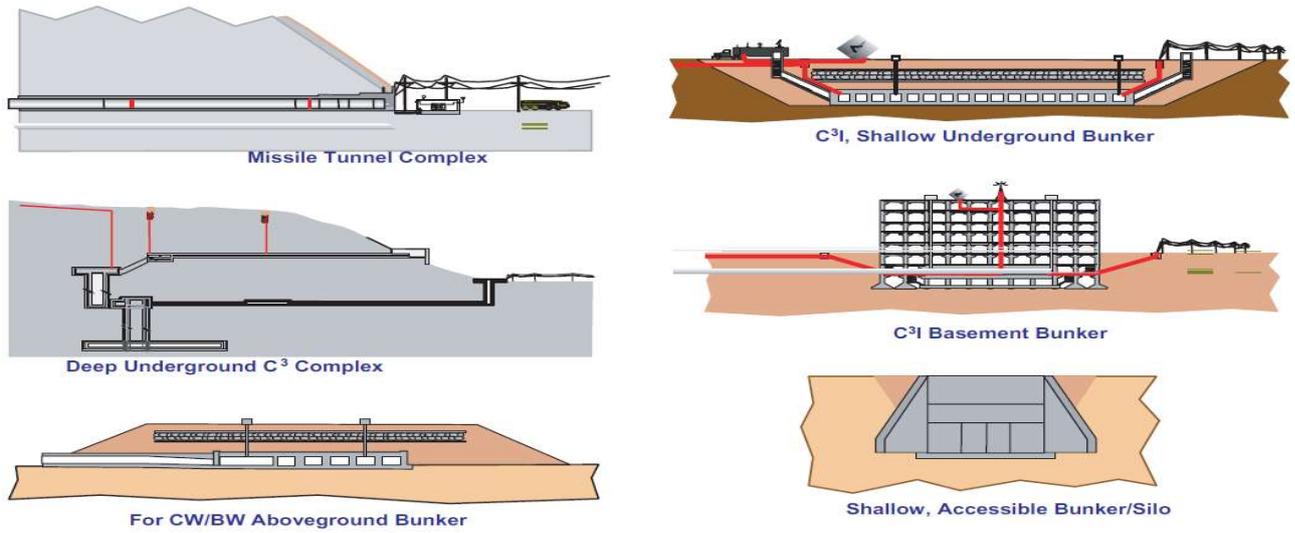
La défense passive, au vu des évolutions exposées dans la première partie, se traduit par des efforts de fortification variant selon leur niveau opérationnel, des plus permanentes et lourdes dans le cadre stratégique à l'édification des FOB semi-permanentes et par la redécouverte de la dimension souterraine.

1 – La protection des infrastructures critiques

Parce qu'elles constituent les bases principales de la prise de décision ou des opérations, ces infrastructures critiques ont connu des efforts de fortification particulièrement marqués durant la guerre froide. Aujourd'hui, l'intérêt croît de nouveau avec une liberté d'action occidentale de plus en plus contestée.

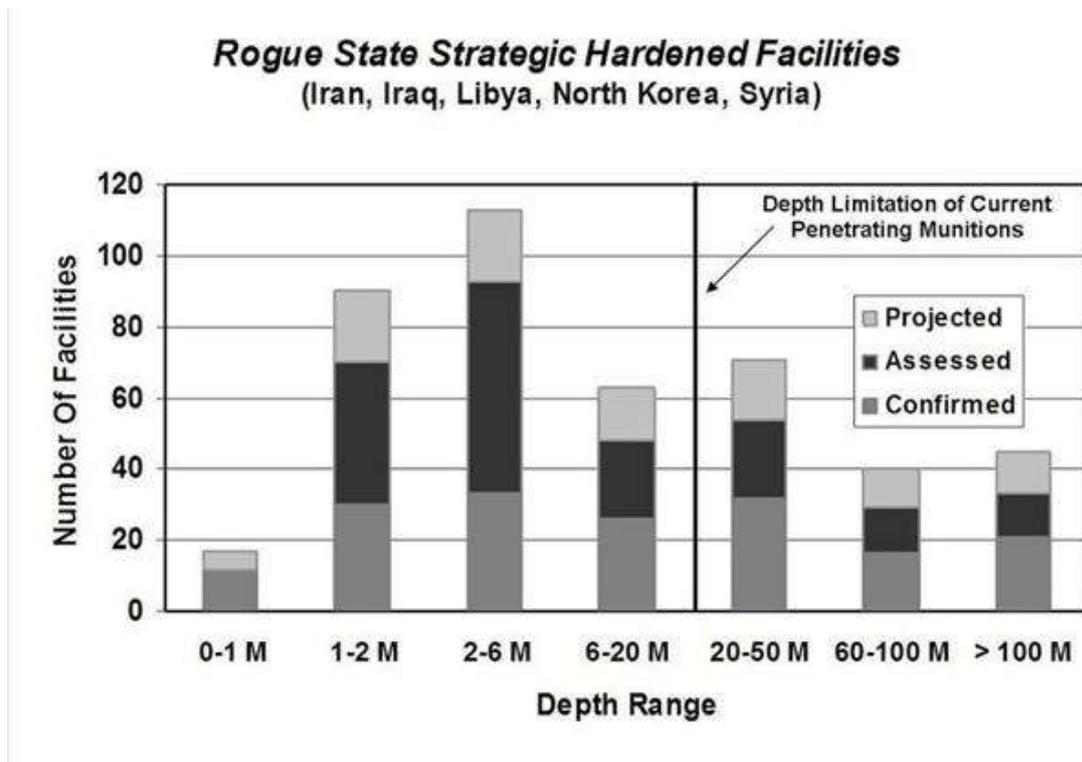
1.1 – Les HBT stratégiques, une exigence régulièrement confirmée

Les infrastructures durcies et/ou enterrées (HBT) de niveau stratégique ne sont en rien une nouveauté. Pour les grandes puissances, elles concrétisent la résilience inhérente à la dissuasion nucléaire depuis des décennies. Depuis la guerre du Golfe, comme nous l'avons vu, l'exercice dévastateur de la puissance aérienne occidentale a poussé d'autres puissances à développer ou accélérer l'enfouissement de plusieurs dizaines de leurs infrastructures critiques. La *Nuclear Posture Review* de 2001 rendait compte d'une estimation de 70 pays disposant d'infrastructures souterraines utilisées à des fins militaires. Sur les 10 000 installations de cette nature alors répertoriées, les services américains estimaient que 1100 (un chiffre réévalué ensuite par la DIA à 1400) servaient à protéger des installations stratégiques : postes de commandement stratégiques, sites de R&D NRBC, bases de missiles, de sous-marins, éventuellement réseau de communication filaire (etc.)³⁸. Le plus grand nombre sont des bunkers aménagés à plusieurs mètres ou dizaines de mètres de profondeur mais les plus inexpugnables sont les sites exploitant les reliefs offrant des centaines de mètres de protection.



Exemples de cibles stratégiques durcies et enterrées, National Research Council, *Effects of Nuclear Earth-Penetrator and Other Weapons*, The National Academies Press, 2005, <https://doi.org/10.17226/11282>.

Si les exemples abondent, les évaluations quantitatives, telles que celle relative aux Rogue States proposée il y a 20 ans et présentée ici en illustration, sont par essence très incertaines et relèvent de l'ordre de grandeur. Il n'en reste pas moins qu'aujourd'hui, la Russie et la Chine bien entendu mais aussi la Corée du Nord ou encore l'Iran ont largement développé l'enfouissement profond de bon nombre de leurs éléments clés sur plusieurs centaines de mètres.



A Primer on the Future Threat, The Decades Ahead: 1999-2020 (SECRET/NO FORN), July 1999, in Scarborough, Rumsfeld's War: The Untold Story of America's Anti-Terrorist Commander Regency, 2004.

La compétition stratégique avec Russie et la Chine et les risques latents de confrontation avec une puissance régionale, tel que l'Iran, replacent au premier rang des préoccupations de dissuasion la capacité à exercer des effets stratégiques coercitifs contre les systèmes d'objectifs les plus critiques de l'adversaire, donc la faculté de défaire ces HBT.

1.2 – La protection des bases aériennes de théâtre en question

La fortification des bases aériennes, particulièrement les hangars des appareils, résulte historiquement de la conjonction de deux menaces : celle terrestre, des raids ou tirs indirects sur les aérodromes et celle aérienne ou balistique. Le risque est soit celui d'une destruction des effecteurs abrités par la base, soit d'une neutralisation des infrastructures de la base elle-même, de ses approvisionnements logistiques à ses pistes. Au-delà du simple gain de survivabilité procuré aux appareils, le recours à des protections lourdes telles que des hangars renforcés ou l'enfouissement des réserves de fuel est avant tout une question d'allocation des efforts, plus particulièrement de la recherche du renchérissement des moyens qu'elles imposent à un adversaire pour les détruire.

La fortification des aérodromes avait connu un début de systématisation lors de la guerre froide, sous la menace conjuguée des armes de saturation de type mortier léger et celle d'une attaque aérienne massive sur les aérodromes comme observée lors de la guerre des six jours de 1967 entre Israël et l'Égypte. De son côté l'*US Air Force*, confrontée au Vietnam à la perte de 1578 appareils par attaques de mortiers et de roquettes, lança le programme « *Concrete Sky* »³⁹, consistant en l'édification de 392 hangars renforcés répartis sur six bases aériennes pour un coût de 15,7 million de dollars. Il se poursuivit ensuite par l'édification de plus de 1000 abris non-couverts en forme de U pour les aéronefs à voilure fixe et L pour ceux à voilure tournante⁴⁰. La conception de ces hangars, en cylindre renversé, fabriqué à partir de plaques d'acier ondulé revêtu de béton renforcé avoisinant les 4000 psi (27,5 MPa), inspirèrent ensuite la construction des hangars de deuxième et troisième génération construits principalement en Europe de type « Tab-V ». Bénéficiant cette fois de porte coulissante en béton, recouverte d'acier, de 3 mètres d'épaisseur, ils équipaient une centaine des 400 bases aériennes de l'OTAN à la fin de la guerre froide⁴¹. En effet, la guerre des six jours, suivie ensuite par celle du Kippour en 1973, démontraient qu'un durcissement des infrastructures réduisait sensiblement la vulnérabilité des bases aériennes : en 1967, sans protection, plus de 400 appareils de l'armée de l'air égyptienne furent détruits au sol, la neutralisant pour le reste du conflit contre seulement 22 six ans plus tard grâce au durcissement de ses infrastructures⁴². De la même manière, une simulation de la RAND Corporation soulignait qu'en cas d'attaque des forces du Pacte de Varsovie sur les aérodromes, leurs capacités à générer des sorties aériennes aurait été réduites de 40% avec un taux égal d'aéronefs détruits⁴³. Le lancement consécutif de l'exercice « *Salty*

Demo » par l’USAF en 1985 pour tester la résilience d’une base aérienne sous attaque, démontra enfin l’insuffisance des dispositifs défensifs. Lorsque la guerre froide prit fin, plus de 1000 hangars renforcés pouvaient être dénombrés sur les bases de l’USAF européennes et du Pacifique⁴⁴.

| Threat weapon | Nature of Aircraft Protection | | | |
|---|-------------------------------|----------------|-----------------------|-----------|
| | Unprotected aircraft | Open revetment | Hard roofed revetment | HAS |
| Small arms | minor/major | nil | nil | nil |
| Mortars, artillery and Anti-tank weapons | major/total | minor | nil | nil |
| Sub-munition attack | major | major | nil/minor | nil |
| General purpose bomb fused for airburst. | major | major | minor | nil |
| Strafing attack | major | minor/major | minor | nil |
| Mk 84 2,000 lb bomb at 50m miss distance | minor | nil | nil | nil |
| Mk 84 2,000 lb bomb at 5m miss distance | total | major | minor/major | nil |
| Fuel-Air Weapon at 30m miss distance | total | total | total | total/nil |
| Mk 84 2,000 lb bomb at 0m miss distance | total | total | major | minor |
| BLU-109 2,000 lb penetrating bomb at 0m miss distance | total | total | total | total |

Table 9.1 Likely Aircraft Damage Comparison³⁴

Illustration 7. *Sal Sidoti*, « Airbase Operability – A study in airbase survivability and post-attack recovery », 2nd edition, *Aerospace Centre*, 2001.

Cet effort ne fut cependant pas poursuivi en Occident. Les protections lourdes furent jugées superflues et nuisibles à la flexibilité du déploiement de l’arme aérienne, dont les aérodromes militaires étaient désormais perçus comme sanctuarisés avec la disparition de l’alter-ego stratégique et l’avènement des munitions pénétrantes et guidées à même de neutraliser dans ses bases, toute menace aérienne ennemie⁴⁵.

De plus, depuis bientôt 30 ans, les opérations expéditionnaires reposent, sur les théâtres d’opération, sur des déploiements (1) perçus comme circonstanciels (quand bien même ils se pérennisent sur plusieurs années), (2) face à des adversaires le plus souvent irréguliers ne disposant pas de l’allonge ou de la précision nécessaire pour constituer une menace sauf, de façon limitée, lorsque les bases aériennes sont à proximité de zones sous leur contrôle (cas de l’Afghanistan typiquement). Le durcissement de ces bases de théâtre, surchargés d’appareils supplémentaires, aura donc représenté une considération assez secondaire.

Aujourd’hui, comme évoqué en première partie, la menace s’accroît y compris de la part des acteurs irréguliers. **L’attaque à l’aide de drones artisanaux sur la base aérienne russe d’Hmeimim** en 2017 en fourni l’exemple emblématique. Elle aurait ainsi détruit 7

appareils : 4 Su-24, 2 Su-35s et un An-72. Bien que le ministère de la défense russe ait avancé la thèse d'une attaque au mortier, les caractéristiques de l'attaque : à plus de 50 km des bases de la rébellion et les débris retrouvés attesteraient de la véracité de l'opération⁴⁶. Pour l'instant marginal, ce type d'attaque atteste de l'émergence d'une capacité de frappe de précision à bas coût et sommaires permise par les progrès des drones explosifs. Elle rend de fait insuffisante les hangars de campagne, voire les abris non-couverts conçus pour parer à des frappes de saturation peu précises. Il est à noter que la prise en compte de cette nouvelle aggravation de la menace sur les bases aériennes a ainsi motivé le lancement en 2011 de l'étude HIPPO (*Hardened Infrastructure Protection for Persistent Operation*) par le département de la défense américaine pour évaluer les dispositifs de défense passive en place⁴⁷. Il fut notamment suivi, quoi que modestement, par l'adoption de lignes de crédit en 2016 pour renforcer les infrastructures de Guam⁴⁸.

Pendant ce temps, plusieurs Etats confrontés à une menace aérienne ou balistique ont au contraire développé leurs investissements non pas simplement dans le durcissement mais dans l'enfouissement de leurs bases. Ceux de la Chine dans le développement de bases aériennes souterraines, déclinaison défensive logique de leur doctrine de « blocus des pistes aériennes » adverses, reposent en creux la question de leur pertinence pour nos propres forces⁴⁹. Estimé à une quarantaine d'installations dans une étude de 2011, la Chine serait ainsi dans la capacité d'abriter *a minima* 1500 aéronefs⁵⁰. Elle est suivie en cela par Taïwan qui a débuté la construction de telles infrastructures dès la fin des années 1980 : « Optimal Mountain » et « Stone Mountain », capables d'héberger respectivement 200 et une soixantaine appareils.

2 – L'appui général à la force : la FOB, un artefact de la contre-insurrection appelé à durer ?

La généralisation sur les théâtres extérieurs des bases opérationnelles avancées ou FOB, piliers logistiques des opérations de contre-insurrection menées depuis la fin de la guerre froide, marque un renouveau des fortifications de campagne, que les progrès de la puissance de feu avaient semblés condamner. Cependant, l'aggravation de la menace irrégulière semble remettre en cause des infrastructures conçues et justifiées pour des conflits de basse intensité.

2.1 – La protection de la force, condition de l'engagement extérieur et source d'hypertrophie des fortifications de campagne

En 2010, il existait en Irak et en Afghanistan respectivement 300 et 400 FOB alors que deux ans auparavant, le théâtre Afghan n'en disposait que d'une centaine. Ainsi, de 2002 à 2008, le budget alloué à la construction de bases s'est élevé à 4,5 milliards de dollars. A la fin de cette décennie, il était de 3 milliards pour l'Afghanistan et de 3,2 milliards

pour l'Irak⁵¹. Cette hyper-croissance des bases avancées peut s'expliquer par deux facteurs, l'un structurel dû à la conduite de la guerre occidentale, particulièrement américaine, l'autre conjoncturel par le contexte de la « Guerre contre le terrorisme ».

Tout d'abord, cette démultiplication des FOBs est due en partie à l'alourdissement du train logistique incarné par le ratio d'un personnel combattant pour deux de soutien : le T3R, *tail-to-tooth ratio*⁵² propres aux armées occidentales. Le développement des FOB est de plus renforcé dans la perspective occidentale par le conditionnement de l'emploi de nos forces à leur protection, devenu un impératif politique vis-à-vis des opinions publiques⁵³. Ensuite, c'est le besoin d'une présence étendue à l'ensemble des territoires dans le cadre de la contre-insurrection qui a amorcé le retour à une vision « géotactique » dans laquelle l'aménagement du terrain devient en soi un objectif à des fins de présence auprès des populations.⁵⁴

2.2 – Des installations condamnées à l'alourdissement de leur protection au risque de l'obsolescence.

Le centre de recherche du génie américain lance en 2017 un programme de recherche pour évaluer et améliorer la protection des forces fournie par les FOBs⁵⁵. Ce programme identifie deux axes d'effort : la réduction du temps et des effectifs nécessaires à l'installation d'une base dans un contexte d'entrée en premier en environnement dégradé et l'élévation du niveau de protection nécessaire des bases à la haute intensité.

| Measure | Current | Effort Objective | Army Objective | TRL or SRL |
|---|---|---------------------------------------|--|--|
| Engineer hours to establish guard tower | 284 Engineer hours | 7.5 Soldier hours 80 Soldier hours | 12 hours 96 hours | Start: 4 End: 6 Start: 4 End: 6 |
| NATO STANAG 2280 Level of Protection for overhead cover | Level C4 mortar | Level C5 artillery | C5 | Start: 4 End: 6 |
| Time to assess perimeter barrier vulnerability to VBIED | High Performance Computational Models (HPC) | < 30 minutes | < 30 minutes | Start: 3 End: 5 |
| Time to assess troop-to-task requirements for up to three courses of action for the contingency base plan | Independent stand alone tools used to asses areas of contingency basing | < 1 day | Integrated models linked to multiple databases | Start: 3 End: 5 |

Source : U.S Army Engineer Research and Development Center, « Force Protection Basing », *Science and Technology objective-Demonstration*, 29 novembre 2017.

Sur le premier point, les procédures de construction des FOBs ne sont pas standardisées et dépendent de l'appréciation de l'ingénieur qui s'adaptera aux matériaux à sa disposition et à l'offre privée de BTP locale. Leur édification en zone urbaine est notamment malaisée : le sable manque pour remplir les gabions *Hesco*⁵⁶, le sous-sol est saturé de canalisations et autres conduits énergétiques, le trafic dense use prématurément les véhicules⁵⁷ et le béton produit localement ne répond pas obligatoirement aux normes de résistance demandées. Ainsi, en Irak la résistance du béton s'établit entre 1000 et 1500 psi⁵⁸ alors que les exigences vis-à-vis des explosions

s'établissent *a minima* à un béton de 4000 psi (27,5 MPa)⁵⁹ pour des infrastructures civiles, ce qui suppose une norme encore supérieure pour les militaires, à l'instar du béton requis pour l'érection d'un T-Wall, estimé à 4500 psi (31 MPa).

Sur la question du niveau de protection, les FOBs ont été conçues pour protéger des menaces de niveau C4, c'est-à-dire contre tout tir de mortier jusqu'au calibre « lourd » de 120 mm et les roquettes de 107 mm. Les développements de la puissance des tirs indirects développés dans la première partie de notre étude et l'avènement de frappes de précision par drones explosifs de 40 kg démontrent que ces mesures ne sont plus suffisantes et qu'une FOB sera ainsi exposée à des menaces d'ordre C5.

Table 1. Design threat levels [10].

| | A Small / medium calibre projectiles | B Shoulder launched weapons / rifle grenades | C Battlefield rockets, artillery and mortars | D Small / personnel- borne IEDs | E VBIEDs |
|---|--|--|---|---|---|
| 5 | Automatic cannon 30 mm APDS | Advanced ASM antistrustructure munition | 155 mm artillery 122 mm rocket | Bag / suitcase 20 kg TNT | Heavy truck / similar > 4000 kg TNT |
| 4 | Heavy machine gun 12.7 – 14.5 mm AP | Anti-tank shaped charge | 120 mm mortar 107 mm rocket | Body-borne device 9 kg TNT, fragments | Medium truck 4000 kg TNT |
| 3 | Assault / Sniper rifle 7.62 mm AP WC | Anti-personnel thermobaric charge < 2.5 kg / conventional | 82 mm mortar | Large briefcase 9 kg TNT | Van 1500 kg TNT |
| 2 | Assault rifle 5.56 – 7.62 mm AP | 40 mm Rifle grenade shaped charge | 60 mm mortar | Package 1.5 kg TNT | Passenger vehicle 400 kg TNT |
| 1 | Assault rifle 5.56 – 7.62 mm Ball | (Reserved) | Hand grenade | Letter bomb 0.125 kg TNT | Motorbike |

Source : Stoller, Dvorak, « Field Tests of Cementitious Composites Suitable for Protective Structures and Critical Infrastructure », *University of Defence, Faculty of Military Technology, Department of Engineer Technology*, 2017.

De la même manière, l'espacement et la compartimentalisation entre les différentes structures sont devenus eux-aussi insuffisants. Les distances retenues sont celles correspondant à la prise en compte d'une menace de type mortier, avec des charges explosives ne dépassant pas la trentaine de kilos : soit une trentaine de mètres en moyenne, hors entrepôts de munitions⁶⁰. La possibilité d'être confronté à des VBIEDs pouvant contenir plus de 3000 kg d'explosifs ou de subir des tirs d'armes à sous-munitions imposerait, par conséquent, un accroissement proportionnel des périmètres de sécurité des bases, notamment du glacis, une dispersion plus grande des infrastructures et leur dissimulation et enfin leur enfouissement plus que leur durcissement (Cf. Annexe 4).

3 – Le renouveau de la guerre souterraine

3.1 – L'émergence de la menace souterraine à la confluence de la protection et de l'appui direct à la manœuvre

Depuis que la guerre de siège existe, les opérations souterraines permettent aux belligérants de déplacer des ressources et des personnes sans être détectés tout en étendant leur mobilité et leur ligne de communication. Les tunnels, caves et tranchées enfouies fournissent à la fois une base C2, une protection et un hébergement. Enfin, le domaine souterrain permet aux belligérants de maximiser l'effet de surprise contre leurs adversaires et d'atteindre les objectifs tactiques. Aujourd'hui, il semble que les données topographiques souterraines soient insuffisamment prise en compte dans l'analyse de l'environnement opérationnel des armées conventionnelles. Pourtant, les exemples historiques et contemporains ne manquent pas quant à l'utilisation des infrastructures enterrées dans la défense en profondeur⁶¹ et l'offensive par surprise : la défense japonaise des îles du Pacifique pendant la Deuxième Guerre Mondiale, la guerre de Corée, la guerre du Viêt-Nam, la première guerre du Golfe, la guerre en Afghanistan et en Irak, les conflits à Gaza et au Liban de *Tsahal* contre le Hamas et le Hezbollah, enfin la guerre en Syrie, etc. Ces derniers conflits ont montré le développement de la problématique souterraine utilisée comme « moyen du pauvre⁶² » afin de capitaliser sur leur résilience interne et de mener une guerre d'attrition face à la supériorité aérienne des armées conventionnelles. Le domaine souterrain est un domaine exploité par plusieurs types d'acteurs, que ce soit des bandes de crime organisé, des civils ou des insurgés. Son utilisation est multiple, allant de transactions commerciales, de trafics (armes, drogues, personnes), de déplacements (matériels, civils, combattants armés), à la protection des occupants et au passage à l'offensive⁶³.

| Catégories | Cavités naturelles et/ou artificielles (tunnels, caves individuelles) | | Systèmes urbains souterrains | | Installations en sous-sol (objectifs militaires) | |
|-----------------|---|---|--|---|--|---|
| Sous-catégories | Rudimentaires | Sophistiquées | Sous structures | Travaux civils | Superficielles | Profondes |
| Description | Pas de blindage, peu d'aménagements | Blindages, électricité, ventilation, passages connectés, drainage | Bases, parking en sous-sol, peut être sophistiqués | Métro, égouts, aqueducs, nappes artificielles | Silos, Bunkers | Armes de destruction massives, bases militaires |
| Utilisations | Communications, approvisionnement, déplacement, soutien opérationnel, mission de commandement, hôpitaux d'urgence, caches d'armes, zone de repos. | | | | Mission de commandement niveau national, installations de protection des leaders, forces de sécurité armées. | |
| Menaces | EEI et mines défensives. | | | | | |

Type de catégorie des infrastructures souterraines. Sources TC 3-21.20 2017.

En effet, les exemples de tunnels découverts dans les régions d’Afghanistan, d’Irak, de Syrie, et dans la bande de Gaza font ressortir une catégorisation des structures en fonction de leurs utilisations (celles-ci n’étant pas exclusives ni exhaustives).

- ➔ **1) Les tunnels de commerce et trafics.** En Syrie, la stratégie de siège des enclaves rebelles poursuivie par les forces gouvernementales, notamment à Alep et à Damas dans la Goutha orientale ont fait des tunnels la clé de la survie et résilience des combattants et populations. Dans la bande de Gaza, entre 2013 et 2014, l’armée égyptienne aurait détruit plus de 1 200 tunnels de trafics qui auraient été utilisés pour l’échange ou le vol de nourriture, d’armes et autres biens en vue de contourner le blocus⁶⁴.
- ➔ **2) Les tunnels défensifs et les structures enfouies dont les fonctions sont la protection contre les tirs indirects et les attaques aériennes,** la cache d’armes et de munitions, la non-détection des déplacements et le maintien de la communication. Certains tunnels ont été façonnés pour être occupés sur le long terme et sont équipés de dortoirs, hôpitaux, cuisine, toilettes, centres de commandement, ventilation, électricité, etc. dont les entrées se situent à l’intérieur de bâtiments privés (maisons, appartements, etc.) ou publiques (hôpitaux, mosquées, écoles, etc.). Ces infrastructures enterrées peuvent s’étendre sur des kilomètres, elles sont alors qualifiées de « ville sous la ville », comme dans le cas de Sinjar, situé dans le Kurdistan irakien⁶⁵.
- ➔ **3). Les tunnels offensifs,** utilisés pour des raids civils, en vue d’attentats ou de kidnappings et lors d’attaques d’EEI (Engins explosifs improvisés) sur des points clés adverses, des check points ou des voies de communication. Les insurgés comme certaines forces armées, à l’instar de celle de la Corée du Nord, vont alors privilégier des souterrains courts, peu profonds et rudimentaires. C’est le cas de l’attaque de l’hôtel Carlton à Alep en 2014, base de contrôle de la ville des forces gouvernementales – 50 soldats tués⁶⁶ -, ainsi que l’explosion du quartier-général du renseignement de l’armée de l’air syrienne dans l’ouest d’Alep en 2015⁶⁷. Dans les deux cas, il s’agit d’attaques ciblées avec création et utilisation de tunnels spécifiques à court terme. Or, il existe également des tunnels offensifs de très grande largeur conçus pour laisser passer des véhicules piégés (VBIED) ou permettre l’infiltration potentielle de centaines de combattants armés⁶⁸.

Ces structures enfouies posent un défi tactique aux forces armées conventionnelles et accentuent la non-linéarité des théâtres d’opération⁶⁹. Même encore aujourd’hui, l’appréhension de l’environnement opérationnel des armées conventionnelles peinent à incorporer les données sur la dimension souterraine. Elles s’avèrent difficiles à cibler et à détruire. En effet, les tunnels de plus de 10 mètres de profondeur permettent d’éviter la détection par surveillance aérienne et spatiale tout en renversant la supériorité asymétrique de la puissance aérienne adverse. De plus, la majorité des entrées et sorties des tunnels sont creusées à l’intérieur de bâtiments publiques ou privées, il faut donc pénétrer à la fois la toiture, le bâtiment et la profondeur de sédiments pour que la structure soit atteinte (Annexe 1). La multiplication d’entrées et

de sorties au sein d'un même tunnel permet aux insurgés de se réinfiltrer après le passage des forces conventionnelles.

Ces structures posent également la question de la cadence de creusement et l'évolution technique et scientifique en matière de géologie et de conception de tunneliers « improvisés » ou artisanaux capturés par les forces kurdes à Daech après la libération de Mosul en 2017. Ces tunneliers artisanaux montrent le passage du creusement manuel à une cadence renforcée et un élargissement des largeurs pour la mise en place de manœuvre de grande ampleur. Entre 2014 et 2017, il semblerait que Daech ait attiré des géologues et ingénieurs tunneliers étrangers dans ses rangs et qu'il ait mis en place et accru son niveau de formation en matière de création de tunnels⁷⁰ (Annexe 6).

3.2 – Les contre-mesures mises en place par les armées conventionnelles : les cas israélien et américain

3.2.1 – La prise en compte et le changement de perception de la menace souterraine par les armées

Pour les armées conventionnelles, un changement de perception s'est produit dans l'appréhension du facteur souterrain comme menace. Or, les armées demeurent largement non préparées en termes de doctrine, d'entraînement et d'équipement. Lors de l'opération « *Bordure Protectrice* » à Gaza en 2014, les forces israéliennes n'étaient pas organisées pour faire face à la menace de tunnels offensifs car elles étaient habituées aux seuls tunnels « passifs » de contrebande depuis les années 1980-1990. Pourtant, Israël est confronté à la menace des « attaques de tunnels » du Hamas depuis les années 2000 à la suite de la Seconde Intifada, ils sont considérés comme une menace stratégique par leur profondeur (pouvant atteindre plus de 25 mètres), leur portée (plusieurs kilomètres), la complexité des réseaux étendus ainsi que leur blindage et renforcement⁷¹. Ils reçoivent une grande attention, en particulier à la suite de l'enlèvement du militaire Gilad Shalit en juin 2006 qui alerte la population sur les dangers de ces tunnels sur le territoire national.

Depuis les années 2010, la prise en compte du facteur souterrain par les forces israéliennes s'est accompagnée de changements organisationnels, structurels et défensifs. En 2013, est créée une compagnie de fouille opérationnelle, « Samoor » (belette), assignée à la recherche et la destruction des caches d'armes et des tunnels. Elle fait partie du bataillon de génie « Yahalom » chargé de traiter la menace des tunnels. Ce bataillon a non seulement doublé en effectif (de 400 à 900 combattants) mais a été également réorganisé en deux sous-unités : S1 ou le commando de l'unité de démolition et la compagnie « Samoor », considérée comme l'élite des unités du génie ; S2 ou la compagnie *SAP Explosive Ordnance Disposal*, sous le commandement de la Division de Gaza qui est chargée de localiser, cartographier et détruire les attaques de tunnels⁷². Enfin, la prise en compte de la menace par Israël se traduit aussi par une augmentation des moyens défensifs telle que la construction d'une barrière souterraine de 64 km autour de la bande de Gaza⁷³, équipée de capteurs sismiques et renforcée par un mur extérieur. La destruction des tunnels s'est imposée comme l'un des objectifs de

l'offensive israélienne dont la dernière opération, *Northern Shield*, en 2018 répondait à cet objectif précis. Plusieurs méthodes ont été employées : l'utilisation de la force aérienne, l'action souterraine avec l'envoi de robots, couplés avec des moyens du renseignement et des technologies avancées.

Quant à l'armée américaine, une perception limitée des menaces et le peu d'intérêt pour ce domaine a créé un manque doctrinal, une littérature inadaptée et des modèles de préparation de combat inadéquats face à une menace dont la gravité s'accroît depuis plusieurs décennies. En effet, les manuels d'emploi des forces faisant référence à l'environnement souterrain datent des années 1980-1990 et concernaient essentiellement le combat urbain et les opérations de contre-guérilla⁷⁴. Pour les armées américaines, la guerre du Vietnam fut considérée comme un environnement particulier, une exception tactique. Les doctrines se concentraient uniquement sur la question de la localisation sans développer le processus de neutralisation et de destruction. Avec les expériences afghanes et irakiennes, les armées américaines redécouvrent l'utilisation des souterrains dans la tactique adverse, et commencent à chercher des outils, équipements et techniques de destruction pour gagner la guerre en sous-sol. En 2017, l'armée américaine développe une circulaire d'entraînement⁷⁵ qui ne change pas fondamentalement les procédures à engager dans un contexte souterrain mais les étend aux unités régulières alors qu'elles étaient jusque-là spécifiques aux forces spéciales⁷⁶.

3.2.2 – La dimension enterrée pour les armées : entre formation et recherche de moyens de destruction

L'US Army aurait dépensé 572 millions de dollars dans l'entraînement et l'équipement de 26 des 31 brigades de combat dans le cadre de la menace souterraine⁷⁷. Le pays dispose de six centres de formation possédant des infrastructures en sous-sol : Fort Hood, TX ; Fort Story, VA ; Fort Leonard Wood, MO ; *Urban Training Center* au Camp Atterbury-Muscatatuck, IN ; le *Tunnel Warfare Center*, China Lake, CA et le *Yuma Proving Grounds*, AZ. L'entraînement, issu du manuel tactique précédemment cité, a pour but d'introduire des concepts et la pratique nécessaire du domaine souterrain avec l'emploi d'outils spécifiques (kit d'intrusion pour les infrastructures blindées, matériels de spéléologie dans les caves et grottes, etc.) et liés au contexte particulier du sous-sol (diminution de l'air, présence potentielle de gaz, communication non verbale à privilégier, utilisation de robots, etc.). Ces exercices forment les soldats à prendre en compte l'aspect multidimensionnel et à anticiper les données inconnues du souterrain⁷⁸.

| Enjeux environnementaux | Considérations opérationnelles | Imprévus |
|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Mauvaise qualité de l'air • Intégrité structurelle • Bruit et surpression • Mauvaise visibilité • Mauvaises communications | <ul style="list-style-type: none"> • Installations souterraines • Communications • Mesures de contrôle de feu | <ul style="list-style-type: none"> • Intervention tactique • Obstacles • Personnel manquant ou isolé • Confinement NRBC |

| | | |
|--|---|--|
| <ul style="list-style-type: none">• Manque de couverture | <ul style="list-style-type: none">• Coordination entre éléments à la surface et en sous-sol• Facteurs psychologiques | |
|--|---|--|

Enjeux, considérations et imprévus liés au domaine souterrain. Sources TC 3-21.20 2017.

L'*Asymmetric Warfare Group (AWG)*⁷⁹ a publié deux documents à destination des unités de l'*US Army* : le *Subterranean Warfare Handbook* et le *Subterranean Operations Handbook*. Ils précisent les axes d'une stratégie capacitaire pour se préparer au contexte souterrain : institutionnaliser et codifier le combat souterrain, mettre en place des formations dédiées aux infrastructures enterrées, incorporer le combat souterrain dans les écoles de formations existantes et enfin développer des équipements et technologies pour le combat souterrain en associant universitaires, scientifiques, industriels, etc.⁸⁰. La DARPA cherche également des technologies pour cet environnement. En témoigne le *DARPA Subterranean Challenge* qui cherche de nouvelles approches pour fournir du renseignement exploitable en environnement souterrain (présence de survivants, qualité de l'air, besoin d'équipement spécial ?)⁸¹. En termes de préparation, on peut citer la mise en place d'entraînements souterrains pour les armées régulières au niveau tactique, au niveau national voire international avec Israël et la Norvège (exercice *Juniper Cobra* en 2018) ainsi que des *wargames*.

En dépit de ces mesures, en l'état, les capacités conventionnelles contre les tunnels restent limitées. La première limite a trait au renseignement : bien qu'il soit possible d'identifier la localisation des tunnels lorsqu'ils sont en train de se construire *via* les vibrations, le bruit, la poussière et les débris, les affaissements de terrain ou encore les allées et venues des personnes à l'entrée ou sortie d'un tunnel, aucune mention n'est faite dans les médias syriens ou irakiens de découverte de tunnels par les forces armées gouvernementales⁸². Cependant lorsque cette détection a été réalisée, la surveillance des entrées des tunnels par drone permet en revanche aux analystes de l'USAF de comprendre des « schémas de vie » et d'interpréter l'agencement intérieur des tunnels, notamment dans le cas de déplacement de certains équipements ou matériels⁸³. Les méthodes de destruction se focalisent sur les frappes aériennes mais sans grande efficacité, avec l'exemple de l'utilisation de MOAB (*Massive Ordnance Air Blast Bomb*) dans le district d'Achin à la frontière entre l'Afghanistan et le Pakistan en avril 2017. L'objectif visé était la branche locale de Daech retranchée dans des grottes et tunnels, les sources parlent de plusieurs dizaines de tués mais la destruction des infrastructures n'est pas confirmée. D'autres techniques improvisées telles que l'envoi de grenades et de pneus enflammés dans les entrées sont citées mais l'agencement des tunnels avec le changement d'angles, de pentes et de dimensions des salles contraint fortement ces techniques⁸⁴.

Recommandations

Les recommandations proposées ci-dessous sont développées *in abstracto* des éventuelles mesures déjà prises par l'institution. Elles sont présentées tout d'abord selon une logique fonctionnelle en distinguant le C2, l'ISR et les « effecteurs » (recouvrant en fait pour partie des capacités d'appui dans le cas présent). Pour chaque fonction, on distingue la question des défenses passives amies de celle des défenses passives qui nous sont opposées.

| | | TERRE | MER | AIR | INTERARMEES |
|--|---|---|-----|-----|-------------|
| Capacités par fonctions opérationnelles | | | | | |
| C2 | Défenses passives amies | Besoin de protection (résilience) des PC : <ul style="list-style-type: none"> en situation conventionnelle, potentiellement jusqu'au niveau 1 (durcissement et/ou dispersion), recherche de plasticité en situation irrégulière (PC de niveau 3-4, GTIA et brigade) | | | |
| | Confrontation avec défense passive adverse | <ul style="list-style-type: none"> Développement d'une architecture de communication en environnement souterrain (implique de nouveaux vecteurs) | | | |

| | | | | | |
|-------------------|---|---|--|--|--|
| | | <ul style="list-style-type: none"> Analyse doctrinale du degré de dégradation consentie des liaisons avec les unités tactiques en milieu souterrain | | | |
| ISR | Défenses passives amies | <ul style="list-style-type: none"> Augmentation de la portée de la détection ; Meilleure intégration des données souterraines dans la préparation renseignement ; Intégration d'une capacité d'analyse géologique dans le PC ; Consolidation des capacités GEOINT permettant la détection des modifications de la dimension souterraine (procédés de modélisation de terrain, de corrélation d'image, capteurs type drones, développement de l'accès aux bases de données thématiques sur la base urbaine, etc.). | | | |
| | Confrontation avec défense passive adverse | <ul style="list-style-type: none"> À des fins d'exploration des installations souterraines <ul style="list-style-type: none"> Développement de robots terrestres ; Etude de la pertinence de charge utile de micro-drones sur certains de ces robots. | | | |
| Effecteurs | Défenses passives amies | <ul style="list-style-type: none"> Acquisition de tunneliers pour le combat urbain ; Acquisition de kits d'intrusion dans des infrastructures blindées et de matériels de spéléologie dans les caves et grottes. | | | |

| | | | | | |
|--|---|---|---|--|--|
| | | <ul style="list-style-type: none"> • Développement des nouvelles technologies de durcissement des PC, bases aériennes, etc. (céramique, nanomatériaux, etc.) ; • Fabrication additive, éléments modulables, permettant d'accélérer et de standardiser le déploiement de sites durcis. | | | |
| | Confrontation avec défense passive adverse | <ul style="list-style-type: none"> • Massification de capacités d'appui à la mobilité et contre-mobilité : <ul style="list-style-type: none"> ○ Acquisition de bulldozers blindés, ○ Renforcement de capacités de bréchage, développement de véhicules lourds de bréchage, successeur à l'AMX-30 DT, en suivant le modèle britannique. ○ Développement de robots (fonction aménagement de terrain/ appui direct) | - | | |
| Effecteurs | | <ul style="list-style-type: none"> • Développement de charges adaptées aux cibles HBT sur les bombes guidées, les missiles de croisières, etc. (pénétrateurs, charges thermonucléaires, etc.) ; • Développement de nouveaux capteurs de sol léger, l'analyse de terrain aérien avancé et les radars de sol pénétrant développeront les capacités de détection des tunnels. | | | |
| Soutien | | Dans une perspective de remontée en puissance, remassification de capacités organiques de génie travaux ET de capacités de contre-mobilité. | | | |
| Recommandations complémentaires | | | | | |

| | |
|---------------------|--|
| Formation | <ul style="list-style-type: none">• Réacquisition des savoir-faire de bréchage par la mené d'exercice, notamment en milieu urbain ;• Partenariats d'entraînement avec ses alliés internationaux à l'image des Etats-Unis, Israël et la Norvège ;• Création de centres d'entraînement aux actions sous-terraines (par extension du CENZUB). |
| Coopérations | <p>Meilleure intégration d'acteurs civils (géologues, constructeurs BTP, cartographes, historiens, etc.) dans le développement de la connaissance du milieu urbain souterrain. Objectif : acquérir une topographie multicouche et multisectorielle des zones urbaines présentes dans l'arc des crises où nos forces seront amenées à intervenir.</p> <p>Pourrait se traduire par le développement de partenariats industriels, universitaires et scientifiques (recherches historiques, géologiques, minières, etc.) afin d'étendre le champ de connaissance sur le milieu souterrain.</p> |

Annexes

Annexe n°1 : Portée des lanceurs Artillerie (France/adversaires potentiels).



Annexe n°2 : Tableau comparatif du nombre de munitions canon de calibre 155mm pour destruction d'objectifs entre M549 (munition classique) et EXCALIBUR (munition guidée à effets augmentés)

| | UNITE INFANTERIE | PC | RADAR | STRUCTURES |
|---------------------------|------------------|----|-------|------------|
| M549 (munition classique) | 25 | 54 | 10 | 110 |
| EXCALIBUR | 3 | 6 | 1 | 3 |

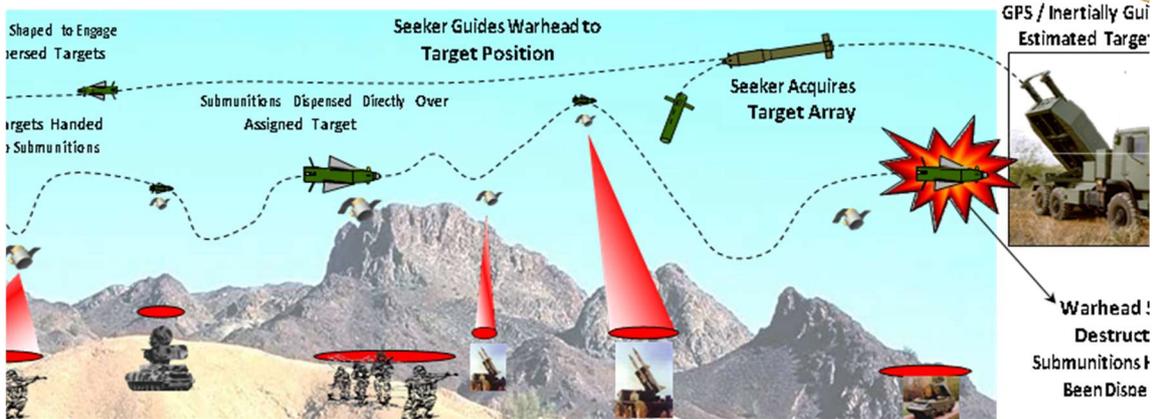
Source : LTC Mike MILNER, *Precision strike association : EXCALIBUR overview*, Combat Ammunition Project

Office PEO Ammunition Picatinny Arsenal, New Jersey, p.9

Annexe n°3 : Exemple de munition à charge multiples et trajectoire modulable : la GMLRS cargo rocket

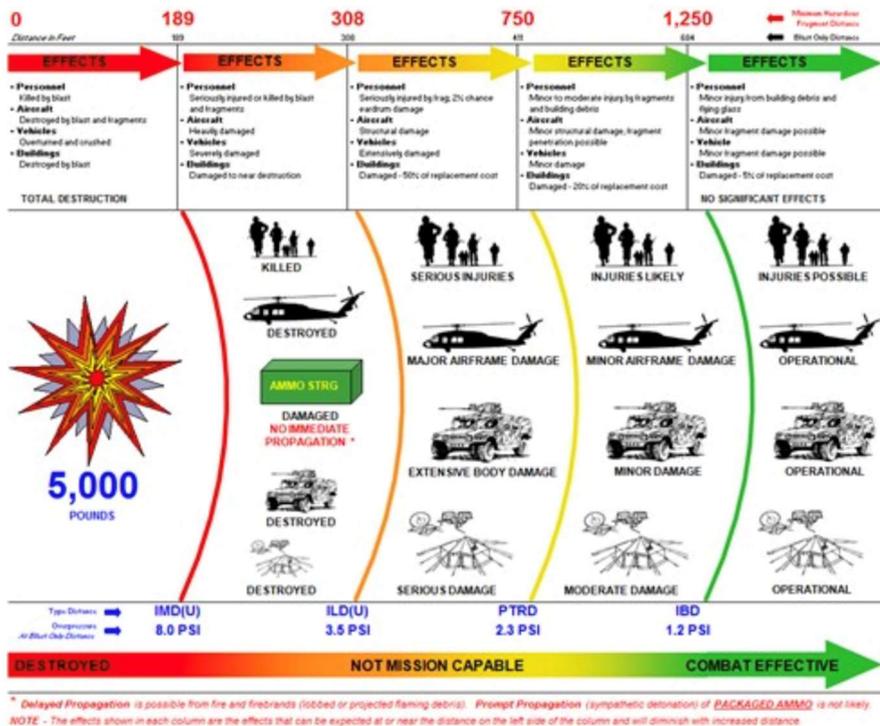
Source : Army's precision fires study. P 37.

GMLRS Cargo Rocket

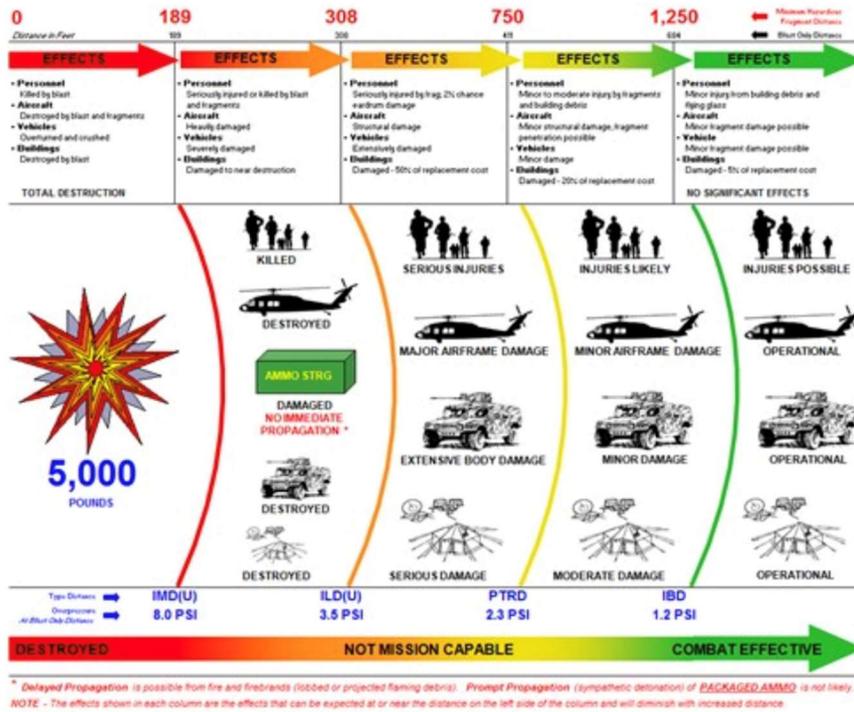


Annexe 4 : Effets d'explosifs d'une trentaine de kilos à 3000 kg sur les infrastructures, les personnels, les matériels

2.3 Safe Separation Distance – 5,000 lb

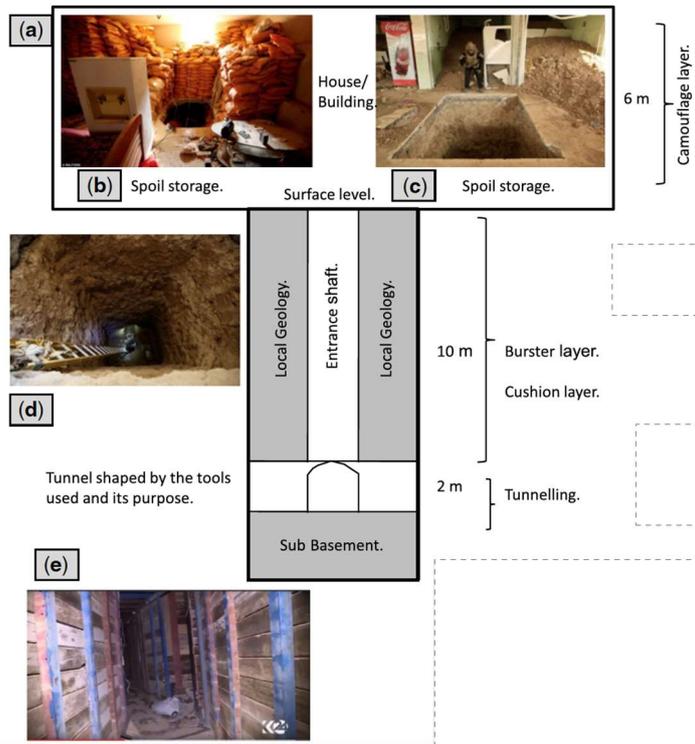


2.3 Safe Separation Distance – 5,000 lb



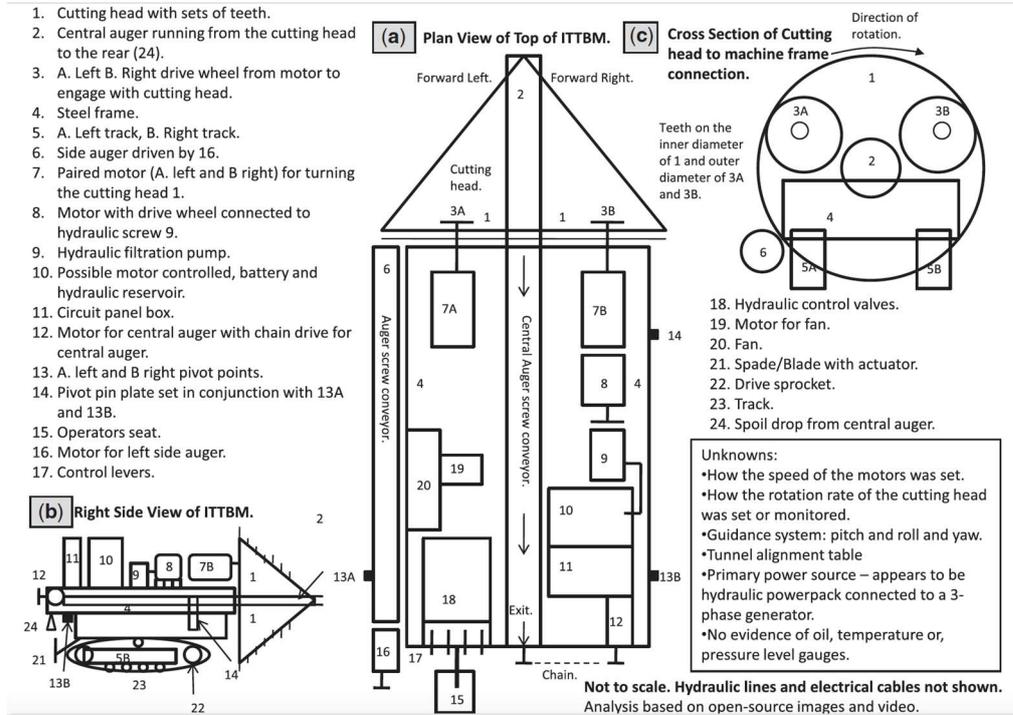
Source : U.S Army, *Tactical Explosives Safety*. AMMO-106, non daté, <https://slideplayer.com/slide/10804544/>

Annexe 5: Schéma et photographies d'entrée de tunnel au sein de bâtiments durcis.



Source : Mark Bulmer 2019.

Annexe 6 : Coupe transversale, vue de plan et vue latérale droite d'un grand tunnelier artisanal ou ITTBM (*Improvised tracked Tunnel-Boring Machine*).



Source : Mark Bulmer 2019.

Références

¹ CICDE, « Glossaire interarmées de terminologie opérationnelle – DC-004_GIATO (2013) » amendé au 1^{er} juin 2015, p.54 et 55.

² « Manuel de Défense NBC – volume 1 – NRBC 34.001(TTA 601), 2011.

³ « Lutte contre la prolifération des armes^{SEP} de destruction massive : la contribution des forces armées – Réflexion doctrinale interarmées RDIA-2013/004_ADM (2013) », N°154/DEF/CICDE/ DR, 12 septembre 2013.

⁴ Department of Defense, *Joint Targeting JP 3-60*, édition 2013, définition de la défense passive reprise par le glossaire interarmées américain JP 1-02 de 2016.

⁵ La protection de la force, CIA 3.14, Centre interarmées de concepts, de doctrines et d'expérimentations (CICDE), 10 janvier 2008. Glossaire français/anglais de l'armée de Terre, EMP 60.641, Centre de doctrine et d'emploi des forces (CDEF), 2013, p. 438.

⁶ Le tir direct (fantassins, véhicules légers) étant pour un irrégulier, sauf différentiel numérique écrasant (cas des embuscades), toujours très couteux puisque la puissance de feux et l'entraînement des forces conventionnelles leur confère un rapport de forces naturellement hors de proportion

⁷ Les indicateurs ici fourni procèdent d'une moyenne des portées et effets des matériels couramment utilisés sur les théâtres d'opération : voir pour le détail le tableau en annexe n°01 ; pour les armements russes : RAND corporation, *The future of the russian miitary : russian group's combat capabilities and implications for US-Russia competition*, 2019, p. 89-110

⁸ Quasi complète : la Russie préférant des canons de 152mm, mais les effets et la portée sont quasiment identiques aux vecteurs de 155mm

⁹ Portées minimales et maximales, ce canon peut avec des munitions à effets augmentés porter jusqu'à 22km mais comme les irréguliers n'en possèdent pas ou ne maîtrisent pas ce process, c'est bien la portée maximale avec munitions classiques qui est ici indiquée. La même approche a été utilisée pour les autres vecteurs utilisés par les irréguliers

¹⁰ Nous ne traiterons ici que des missiles en dotation dans les forces terrestres d'artillerie, pas les ICBM ou les missiles navals et aériens aux portées et effets plus importants

¹¹ Toujours hypothétique puisque qu'aucun affrontement face à des vecteurs contemporains maîtrisés n'a eu lieu à ce jour

¹² C'est particulièrement le cas des structures (bâtiments et autres éléments durcis) qui sont un moyen essentiel de protection face aux munitions classiques, mais qui deviennent vulnérables contre les munitions à effet augmentés : à titre d'exemple avec les munitions américaines face à un bâtiment : alors qu'il est nécessaire d'appliquer 110obus de 155mm classiques (M549A1) pour obtenir la destruction, seuls 3obus EXCALIBUR seront utilisés ! Pour le détail de cette augmentation des effets voir l'annexe n°03

¹³ Voir annexe n°04 pour une illustration de ce phénomène d'action multiple à trajectoire modulable

¹⁴ Il s'agit d'un processus bien connu identique à celui des vecteurs : c'est parce que les vecteurs soviétiques d'artillerie sont considérés comme dépassés qu'ils atterrissent sur les marchés noirs et dans les arsenaux d'États faibles qui peuvent être capturés par des irréguliers, entraînant l'acquisition de capacités canons autrefois impossible. La même chose adviendra en ce qui concerne les munitions augmentées, qui parce que considérées par les grandes puissances comme dépassées au regard d'une nouvelle étape d'augmentation, verront leur dissémination (et des process de mise en œuvre) sur les marchés noirs et dans les arsenaux d'États faibles susceptibles d'être récupérés par les irréguliers

¹⁵ Il s'agit sûrement de la compétence la plus délicate à obtenir tant elle implique une architecture combinatoire entre moyens d'observation/guidage et la munition guidée. De fait l'usage de munitions guidées GPS semble improbable pour les irréguliers sauf piratage d'un système satellitaire (mais qui semble plutôt utopique de premier abord), par contre la possibilité de couplage laser est à envisager, puisqu'il suffira d'un pointeur avancé et de la munition calibrée sur guidage laser pour le réaliser, action qui dans un futur proche est plus que probable

¹⁶ « *Army long-range fires converge with joint multi-domain capabilities to penetrate and dis-integrate enemy anti-access and area denial systems to enable Joint Force freedom of strategic and operational maneuver* » : TRADOC Pamphlet 525-3-4, *The U.S Army functional concept for fires : 2020-2040*, 2017, page 25 : les développements russes pour leur part seront plus proche des 300-400km avec l'introduction de missiles Iskander au sein des forces d'artillerie (plus seulement des frappes stratégiques ou de l'action de déni d'accès) : RAND corporation, *The future of the russian military : russian group's combat capabilities and implications for US-Russia competition*, 2019, p. 116-120

¹⁷ Robert W Nelson « Low-Yield Earth-Penetrating Nuclear Weapons » *Science and Global Security* no. 10 (2002): 1-20, <http://scienceandglobalsecurity.org/archive/sgs/10nelson.pdf>

¹⁸ Håkan Hansson, *Warhead penetration in concrete protective structures*, KTH, School of Architecture and the Built Environment (ABE), Licentiate thesis, Civil and Architectural Engineering, Concrete Structures. 2011

¹⁹ Tong Zhao, *Conventional Counterforce Strike and Damage Limitation*, Sam Nunn School of International Affairs, Georgia Tech, 2011, https://igcc.ucsd.edu/_files/PPNT/NuclearBriefing2presentation1.pdf

²⁰ Stéphane Delory et alii, *Le concept américain de « Conventional Prompt Global Strike »*, Fondation pour la recherche stratégique, étude réalisé au profit du CICDE, 19 juillet 2017, diffusion restreinte

²¹ Russell J. Hart, Jr., Colonel, USAF, *Defeating Hard And Deeply Buried Targets In 2035*, Air War College, Air University, A Research Report Submitted to the Faculty In Partial Fulfillment of the Graduation Requirements

15 February 2012, <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/1018630.pdf>

²² Si le concept des mégacités s'inscrit dans le débat plus ancien portant sur les opérations dans les mégalopoles ou mégapoles, terme introduit par Jean Gottmann en 1961 au sujet de la côte-est des Etats-Unis, il diffère sensiblement de celui-ci par l'universalisme de l'urbanité qu'il postule, non plus seulement réservés aux théâtres européens et nord-américain et par son emphase sur les potentialités de la ville-connecté.

²³ US Army, Chief of Staff of the Army, Strategic Studies Group, Megacities Concept Team, « Megacities and the United States Army: Preparing for a Complex and Uncertain Future », Arlington, June 2014.

²⁴ Ian Klaus, « Intuition, the City and War », *Modern War Institute*, 1 août 2019.

²⁵ John Spencer, « It's Time To Create A Megacities Combat Unit », *Modern War Institute*, 31 janvier 2017.

²⁶ John Spencer, « Three 'Warhacks' for Urban Combat », *Modern War Institute*, 3 juillet 2017.

²⁷ UN Department of Economic and Social Affairs, « World Urbanization Prospects: The 2014 Revision – Highlights », New York, 2014, p. 1.

²⁸ Martin J. Murray, « The Urbanism of Exception. The Dynamics of Global City Building in the Twenty-First Century », *Cambridge University Press*, 10 mars 2017 et Neil Brenner and Christian Schmid, « The 'Urban Age' in Question », dans Neil Brenner « Implosions/Explosions: Towards a Study of Planetary Urbanism », Berlin, Jovis, 2014, pp. 310-337.

²⁹ Norton, Richard J. (2003) "Feral Cities," *Naval War College Review*: Vol. 56 : No. 4 , Article 8, <https://digital-commons.usnwc.edu/nwc-review/vol56/iss4/8>.

³⁰ US Army, 2014 et P. Williams and W. Selle, *Military Contingencies in Megacities and Sub-Megacities*, Carlisle Barracks: United States Army War College Press, 2016.

³¹ Igor Kossov, « Mosul Is Completely Destroyed », *The Atlantic*, 10 juillet 2017, <https://www.theatlantic.com/international/archive/2017/07/mosul-iraq-abadi-isis-corruption/533067/>

³² A la suite de l'arrestation le 17 octobre 2019 du fils d'El Chapo, ancien chef du cartel de Sinaloa, les narco-traffiquants mirent en échec les forces de polices locales et les éléments de l'armée mexicaine, assumant de facto le contrôle de la ville pour plusieurs heures.

³³ Daryl G. Press, « Urban Warfare : Options, Problems and the Future », *Conference Summary, MIT Security Studies Program*, Janvier 1999.

³⁴ David Bellavia, « House to House », *Free Press*, 2007.

³⁵ L'unité de pression ou de contrainte sur les matériaux.

³⁶ Carlo Kopp, « Hardening RAAF Air Base Infrastructure », *Air Power Australia* », 5 février 2008.

³⁷ General Charles C. Krulak, USMC, « *The Three Block War : Fighting in Urban Areas* », dans « *Vital Speeches of the Day* » numéro 64, New York, 15 Décembre 1997, p. 139.

³⁸ Federation of American Scientists, Excerpts of Classified Nuclear Posture Review, 8 January 2002, p.10, <https://fas.org/wp-content/uploads/media/Excerpts-of-Classified-Nuclear-Posture-Review.pdf>

³⁹ Alan J. Vick, « Air Base Attacks and Defensive Counters – Historical Lessons and Future Challenges », *Rand Corporation*,

-
- ⁴⁰ Adrian G. Trass, « Engineers at War », United States Army in Vietnam Series, 25 février 2011.
- ⁴¹ Christopher J. Bowie, « The Lessons of Salty Demo », *Air Force Magazine*, juillet 2007.
- ⁴² *Ibid.*
- ⁴³ Don Emerson, *USAFE Airbase Operations in a Wartime Environment* (Santa Monica, CA: The RAND Corporation, October 1982), pp. 9, 16.
- ⁴⁴ Marc V. Schanz, « The New Limits to Hardening », *Air Force Magazine*, décembre 2015.
- ⁴⁵ Christopher J. Bowie, « The Anti-Access Threat and Theater Air Bases », *Center for Strategic and Budgetary Assessments*, 2002.
- ⁴⁶ Nick Waters, « The Poor Man's Air Force ? Rebel Drones Attack Russia's Airbase in Syria », *Bellingcat*, 12 janvier 2018.
- ⁴⁷ Kenneth R. Dorner, William B. Hartman, Jason M. Teague, « Back to the Future, Integrated Air and Missile Defense in the Pacific », *Air & Space Power Journal*, Volume 29, n°1, janvier-février 2015.
- ⁴⁸ *Op. cit.*, Schanz, 2015.
- ⁴⁹ Oriana Skylar Mastro, Ian Easton, « Risk and Resiliency : China's Emerging Air Base Strike Threat », *Projet 2049 Institute*, 8 novembre 2017.
- ⁵⁰ Sean O'Connor, Dr Carlo Kopp, « Assessing PLA Underground Air Basing Capability », *Air Power Australia*, 16 février 2011.
- ⁵¹ *Noblis*, « Sustainable Forward Operating Bases », *Strategic Environmental Research and Development Program (SERDP)*, 21 mai 2010.
- ⁵² John J. McGrath, « The Other End of the Spear : The Tooth-to-Tail Ratio (T3R) in Modern Military Operations », The Long War Series, Occasional Paper 23, *Combat Studies Institute Press, Fort Leavenworth*, 2007.
- ⁵³ Vincent Desportes, « La protection de la force », *Doctrine n°15, Revue d'étude générales, CDEF*, septembre 2008.
- ⁵⁴ Harold Balbach, William Goran, « From Protection to Projection : an Overview of Location Considerations for US Military Bases », *The Geological Society of America*, 2014.
- ⁵⁵ U.S Army Engineer Research and Development Center, « Force Protection Basing », *Science and Technology objective-Demonstration*, 29 novembre 2017.
- ⁵⁶ Le sable est préféré à la terre qui ne possède qu'un tiers de ses capacités d'absorption quant à d'autres matériaux, de type pierre, bois ou béton, ceux-ci se révéleront dangereux par les éclats qu'ils généreront en cas d'impact.
- ⁵⁷ Cpt Jason M. Railsback, « Force Protection of FOB in Baghdad », *Engineer - The professional bulletin for Army Engineers*, octobre/décembre 2003.
- ⁵⁸ Bart Kemper, « Risk Mitigation and Reliability Lessons Learned From Iraq », *International Mechanical engineering conference and exposition, Seattle Washington USA*, janvier 2007.
- ⁵⁹ « TM 5-1300 : Structures to Resist the Effects of Accidental Explosions » dans N Jones, « Structures under Shock and Impact VII », CA Brebbia & AM Rajendran, WIT Press, 2002.
- ⁶⁰ US Army Corps of Engineers, « Base Camp Development in the Theater of Operations », 19 janvier 2009.
- ⁶¹ Haley E. Mercer, *Shaping the Deep Fight : Operational Implications for the 21st Century Subterranean Conflict*, School of Advanced Military Studies, US Army Command and General Staff College, Fort Leavenworth, KS, 2019, 49 p.
- ⁶² « Dans les entrailles de la terre, épisode 1 : de Hanoï à Mossoul : quand la guerre se fait souterraine », *Franceculture*, le 3 mars 2017. <https://www.franceculture.fr/oeuvre/la-guerre-souterraine-sous-terre-se-bat-aussi>
- ⁶³ Marko Bulmer, « Contemporary Military Use of Subterranea », *the British Army Review 175*, summer 2019, pp. 106-113. <https://www.army.mod.uk/media/6410/bar-175-full-edition.pdf>
- ⁶⁴ « Israel Tunnel Warfare », *Homeland Security Research Corp.* Août 2015, 13 p. https://homelandsecurityresearch.com/download/Israel_Tunnel_Warfare.pdf
- ⁶⁵ Walter Haydock, « Levantine Labyrinth : preparing for subterranean warfare in Iraq and Syria », *War on the Rocks*, May 19, 2016. <https://warontherocks.com/2016/05/levantine-labyrinth-preparing-for-subterranean-warfare-in-iraq-and-syria/>. Voir également Oli SMITH, « Inside secret underground ISIS bomb-making lair found littered with US-made guns and drugs », *Express*, November 26, 2015. <https://www.express.co.uk/news/world/622070/underground-ISIS-lair-US-made-guns-and-drugs-Raqqa-bomb-campaign>

⁶⁶ Dominic Evans, « Syrian rebels blow up Aleppo hotel used by army », REUTERS, May 8, 2014. <https://www.reuters.com/article/us-syria-crisis-aleppo/syrian-rebels-blow-up-aleppo-hotel-used-by-army-idUSBREA4706Z20140508>

⁶⁷ Jamie Dettmer, « Tunnel bombs highlight savagery of Aleppo Fight », *Voice Of America*, March 5, 2015. <https://www.voanews.com/world-news/middle-east-dont-use/tunnel-bombs-highlight-savagery-aleppo-fight>

⁶⁸ Mark H. Bulmer, « Geological considerations of contemporary military tunnelling near Mosul, northern Iraq », *Geological Society*, London, Special Publications, n°473, 2019, pp. 241-265.

⁶⁹ Voir Observatoire des Conflits Futurs, « L'espace de bataille futur. Quelle place demain pour la linéarité ? Quelles conséquences pour la manoeuvre interarmées ? », *Fondation pour la Recherche Stratégique*, 27 janvier 2019.

⁷⁰ *Op. cit.*, Mark H. Bulmer, 2019.

⁷¹ Raphael D. Marcus « Learning « Under Fire » : Israel's Improvised military adaptation to Hamas tunnel warfare », *Journal of Strategic Studies*, 2017, 27 p.

⁷² Omer Dostri, «The Buildup of Forces for IDF Underground Warfare », *The Jerusalem Institute for Strategy and Security*, 15 janvier 2019.

⁷³ Juliane Helmhold, « Ground-breaking progress in detection, destruction of Gaza terror tunnels », *The Jerusalem Post*, April 15, 2018. <https://www.jpost.com/Israel-News/Ground-breaking-progress-in-detection-destruction-of-Gaza-terror-tunnels-549877>

⁷⁴ Kelsey D. Atherton, « How the military could find robots it needs to win underground », *C4ISRNET*, June 3, <https://www.c4isrnet.com/unmanned/2019/06/03/how-the-military-could-find-robots-it-needs-to-win-underground/>

⁷⁵ U.S. Government, U.S. Military, DoD, *Small Training in Subterranean Environment (TC 3-21.50) – Preparing to Fight in Underground Facilities, Bunkers, Subways, Sewers, Caves, Tunnels, WMD Bases with Applicability to North Korea*, Progressive Management, November 2017, 114 p.

⁷⁶ Jeremiah Rozman, « The Army Is Preparing to Go Underground », *RealClear Defense*, July 3, 2019. https://www.realcleardefense.com/articles/2019/07/03/the_army_is_preparing_to_go_underground_114555.html

⁷⁷ Matthew Cox « Army Is Spending Half a Billion to Train Soldiers to Fight Underground », *Military.com*, June 4, 2018. <https://www.military.com/daily-news/2018/06/24/army-spending-half-billion-train-troops-fight-underground.html>

⁷⁸ Todd South, « The subterranean battlefield: Warfare is going underground, into dark, tight spaces », *MilitaryTimes*, 26 february 2019. <https://www.militarytimes.com/news/your-army/2019/02/26/the-subterranean-battlefield-warfare-is-going-underground-into-dark-tight-spaces/>

⁷⁹ L'Asymmetric Warfare Group (AWG) est une unité des missions spéciales de l'armée américaine, chargée de fournir des conseils opérationnels à d'autres unités de l'US Army pour les aider à combattre les différents types de menaces asymétriques. https://www.army.mil/aps/08/information_papers/prepare/Army_Asymmetric_Warfare_Group.html

⁸⁰ Walker Mills, « The elephant in the tunnel : preparing to fight and win underground », *Moderne War Institute*, March 19, 2019. <https://mwi.usma.edu/elephant-tunnel-preparing-fight-win-underground/>. Voir également Claudia ElDib, John SPENCER, « Commentary : The missing link to preparing for military operations in megacities and dense urban areas », *ArmyTimes*, July 20, 2018. <https://www.armytimes.com/opinion/commentary/2018/07/20/commentary-the-missing-link-to-preparing-for-military-operations-in-megacities-and-dense-urban-areas/>

⁸¹ Maj. John W. Spencer, Col. Liam Collins, « Facing our underground nightmares : casting light on the subterranean fight », *Association of the US Army*, August 20, 2019. <https://www.ausa.org/articles/facing-our-underground-nightmares-casting-light-subterranean-fight>

⁸² Marko Bulmer, « Contemporary Military Use of Subterranea », *the British Army Review* 175, summer 2019, pp. 106-113. <https://www.army.mod.uk/media/6410/bar-175-full-edition.pdf>

⁸³ Stephen Losey, Todd South, « The Air Force's struggle to fight subterranean warfare » March 11 ? <https://www.airforcetimes.com/news/your-air-force/2019/03/12/the-air-forces-struggle-to-fight-subterranean-warfare/>

⁸⁴ *Ibid.*