



Commission de la Sécurité intérieure et de la Défense

Procès-verbal de la réunion du 3 décembre 2021

(La réunion a eu lieu par visioconférence.)

Ordre du jour :

1. De 08.15 heures à 09.00 heures
 - 7819 **Projet de loi portant**
1° approbation du Traité entre le Royaume de Belgique, le Grand-Duché de Luxembourg et le Royaume des Pays-Bas en matière de coopération policière, signé à Bruxelles, le 23 juillet 2018 ;
2° modification de la loi modifiée du 21 novembre 2004 portant approbation du Traité entre le Royaume de Belgique, le Royaume des Pays-Bas et le Grand-Duché de Luxembourg en matière d'intervention policière transfrontalière, signé à Luxembourg, le 8 juin 2004
 - Présentation du projet de loi
 - Désignation d'un rapporteur
 - Examen de l'avis du Conseil d'État

2. À partir de 09.00 heures

Evaluatioun vum CO2-Ausstouss duerch d'Infrastrukturen an d'dreifstoffintensiivt Material vun der Lëtzebuenger Arméi (Motioun vum Här Marc Goergen vum 10. März 2021)

*

Présents : Mme Semiray Ahmedova, Mme Nancy Arendt épouse Kemp, M. Carlo Back, M. Dan Biancalana, Mme Stéphanie Empain, M. Marc Goergen, M. Gusty Graas, M. Max Hahn, M. Jean-Marie Halsdorf, M. Fernand Kartheiser, M. Claude Lamberty, M. Georges Mischo, Mme Lydia Mutsch

M. Henri Kox, Ministre de la Sécurité intérieure

M. Laurent Weber, Mme Barbara Ujlaki, du Ministère de la Sécurité intérieure

M. François Bausch, Ministre de la Défense

Mme Nina Garcia, Coordinatrice générale Défense, M. Roland Reiland, Directeur adjoint, LtCol Guy Hoffmann, Direction de la Défense, du Ministère des Affaires étrangères et européennes

Lëtzebuenger Arméi :

Col Pascal Ballinger, Chef d'État-Major adjoint

Mme Marianne Weycker, M. Dan Schmit, de l'Administration parlementaire

Excusés : Mme Diane Adehm, M. Léon Gloden

Mme Nathalie Oberweis, observatrice déléguée

*

Présidence : Mme Stéphanie Empain, Présidente de la Commission

*

1. Projet de loi 7819

La commission désigne sa présidente rapportrice du projet de loi.

Suite à quelques paroles introductives de Monsieur le Ministre, les auteurs du projet de loi expliquent qu'en 2016, la décision fut prise de remanier le Traité entre le Royaume de Belgique, le Royaume des Pays-Bas et le Grand-Duché de Luxembourg en matière d'intervention policière transfrontalière, signé à Luxembourg, le 8 juin 2004 pour en préciser certains points et pour élargir et moderniser la coopération policière.

Les principales nouveautés du Traité de 2018 concernent :

- les modalités de la poursuite transfrontalière, laquelle est étendue ;
- les possibilités d'échange de données, lesquelles sont multipliées et réglées de manière plus détaillée ;
- les interventions des unités spéciales, auxquelles est consacré un chapitre spécifique nouveau ;
- d'autres formes d'intervention transfrontalière, lesquelles sont précisées ;
- de nouvelles formes d'intervention transfrontalière.

Pour ce qui est de certaines dispositions nouvelles de coopération plus étendue, le Traité de 2018 laisse aux parties contractantes le choix quant à leur participation. Pour mettre en pratique certaines de ces dispositions et régler en détail les modalités de coopération, le Traité prévoit la possibilité, voire la nécessité de conclure des accords d'exécution. Comme l'indiquent les auteurs du projet de loi à l'exposé des motifs, ces accords seront conclus entre deux ou les trois pays du Benelux, en fonction des besoins et des possibilités légales de chaque pays.

Le projet de loi contient 9 articles et s'inspire de la loi d'approbation du Traité de 2004 et de la loi d'approbation du Traité de Prüm (« Schengen III » ou « Schengen plus »), signé le 27 mai 2005.

L'article 1^{er} a pour objet l'approbation du Traité de 2018 et de ses six annexes, comme aucune disposition du traité n'énonce qu'elles en font partie intégrante. Cet article ne donne pas lieu à observation de la part du Conseil d'État.

L'article 2 prévoit de permettre au pouvoir exécutif de modifier les annexes en respectant les compétences du pouvoir législatif. Le Conseil d'État constate que cet article « ne fait que réitérer, avec une formulation différente, le dispositif de l'article 66, paragraphe 7, du Traité »

et que le « seul apport est le renvoi aux « dispositions de droit interne attributives de compétences » ». Il considère « qu'il n'y a pas lieu de consacrer dans la loi une réserve qui trouve son fondement dans le texte constitutionnel » et propose d'omettre l'article 2.

L'article 3 précisant les autorités compétentes au sens du Traité de 2018 est également considéré par le Conseil d'État comme superfétatoire, en ce qu'il ne fait que reproduire l'annexe 2 du traité.

En vertu de l'article 4, les policiers des autres parties contractantes qui interviennent au Luxembourg sont considérés comme agents de police judiciaire (APJ) et agents de police administrative (APA) luxembourgeois et soumis à la législation luxembourgeoise, ce qui signifie qu'ils ne peuvent exercer que les compétences d'un APJ et d'un APA et non celles d'un officier de police judiciaire (OPJ) ni d'un officier de police administrative (OPA). En vertu du principe de réciprocité, il en va de même pour les policiers luxembourgeois qui interviennent sur le territoire d'une autre partie contractante.

S'interrogeant sur la nécessité de reprendre le dispositif de l'article 3 de la loi d'approbation du Traité de 2004, le Conseil d'État rappelle que « Le Traité détermine en détail les compétences du fonctionnaire de l'État expéditeur sur le territoire d'un autre État contractant. C'est le Traité qui constitue la base légale de ces compétences et il n'y a pas lieu de créer une base nationale. ». De surplus, le Traité « renvoie encore itérativement (...) au droit de l'État d'accueil pour les actes posés par le fonctionnaire de l'État expéditeur, de sorte qu'il n'y a pas lieu de consacrer, à l'alinéa 1^{er}, l'application du Code de procédure pénale ou de la loi modifiée du 18 juillet 2018 sur la Police grand-ducale. La référence à ces deux dispositifs légaux risque encore de s'avérer réductrice, vu que c'est l'intégralité du droit luxembourgeois de caractère territorial qui s'applique. Le Conseil d'État ne comprend pas non plus la nécessité de consacrer dans la loi une « assimilation » aux fonctionnaires et agents luxembourgeois. Les fonctionnaires de l'État expéditeur exercent les compétences prévues dans le Traité en tant que fonctionnaires de l'État expéditeur soumis, en vertu de l'article 34 du Traité à « l'autorité des autorités compétentes de l'État d'accueil ».

Le Conseil d'État attire aussi l'attention sur les dispositions précises des articles 48 et 49 du Traité de 2018, en ce qui concerne les questions de la responsabilité civile et pénale et « relève que le Traité est plus détaillé et plus explicite que celui de 2004 sur les compétences des fonctionnaires de l'État expéditeur sur le territoire de l'État d'accueil et sur leur soumission aux autorités de l'État d'accueil et au respect de la loi de cet État. Le principe de l'assimilation énoncé à l'article 48 du Traité ne trouve pas son correspondant dans le texte du Traité de 2004. Ces différences sont de nature à justifier la non-reprise des dispositions de la loi de 2004. » Par conséquent, l'article 4 est à omettre.

L'article 5 reprend également une disposition de la loi d'approbation du Traité de 2004, à savoir son article 5, et est le corollaire de l'article 4 du projet de loi. L'article 5 prévoit que les missions des policiers luxembourgeois effectuées sur le territoire d'une autre partie contractante sont assimilées à celles effectuées au Luxembourg. Comme à l'endroit de l'article 4, le Conseil d'État s'interroge « sur la nécessité de ce dispositif, le Traité constituant la base unique et exhaustive tant pour l'intervention de fonctionnaires d'une autre Partie contractante sur le territoire luxembourgeois que pour l'intervention de fonctionnaires luxembourgeois sur le territoire d'une autre Partie contractante ». Il précise en outre qu'il « n'appartient pas à la loi de régler ces questions en affirmant le principe d'une assimilation à des opérations effectuées sur le territoire national. Un tel raisonnement en termes d'assimilation ne pourrait d'ailleurs avoir des effets que vis-à-vis de l'ordre juridique luxembourgeois, la loi nationale ne pouvant pas déployer un effet extraterritorial. ». L'article 5 est partant à omettre.

Les articles 6 et 7 sont relatifs respectivement à l'exécution des actes de recherche transfrontalière et, en situation d'urgence, des mesures de sauvegarde des traces et des

preuves d'une infraction pénale. Les auteurs du projet de loi se réfèrent pour l'article 6 du projet de loi à l'article 23 du Traité de 2018, en vertu duquel les policiers étrangers peuvent réaliser des actes de recherche sur le territoire luxembourgeois dans le cadre d'infractions pénales, ce qui représente une « nouvelle forme importante d'intervention transfrontalière, étant donné qu'en matière de coopération policière classique, l'Etat requis effectue lui-même les actes de recherche demandés ». Concernant l'article 7, il est précisé que, tel que le prévoit l'article 33 du Traité, l'urgence de la situation se caractérise par un risque réel que les traces et preuves disparaîtraient, si le prélèvement n'avait lieu qu'après réception d'une décision d'enquête européenne ou d'une demande d'assistance judiciaire mutuelle.

Pour le Conseil d'État, les articles 6 et 7 sont à omettre, puisque les articles 23 et 33 du Traité renvoient au droit de l'État d'accueil.

L'article 8 dispose que le traitement des données à caractère personnel se fait en application de la législation nationale en vigueur. Cette disposition est également à omettre selon le Conseil d'État qui rend attentif à l'exhaustivité du Traité de 2018 en matière de coopération dans le secteur des banques de données policières. Il rappelle que l'article 7 du Traité renvoie expressément à la directive (UE) 2016/680¹, au règlement général sur la protection des données² et aux « lois de transposition respectives ». Il ne s'impose ainsi pas en droit de préciser qu'il s'agit au Luxembourg de la loi du 1^{er} août 2018 relative à la protection des personnes physiques à l'égard du traitement des données à caractère personnel en matière pénale ainsi qu'en matière de sécurité nationale, cette précision revêtant tout au plus une portée informative.

L'article 9 n'a pas donné lieu à observation du Conseil d'État, puisqu'il ne fait qu'abroger les articles 2 à 6 de la loi d'approbation du Traité de 2004, l'article 1^{er} approuvant ce Traité ne pouvant pas être abrogé.

Les auteurs du projet de loi considèrent les avis des autorités judiciaires comme particulièrement utiles pour la mise en œuvre des dispositions du Traité de 2018, en ce qu'ils éclairent notamment l'application du Code de procédure pénale dans le cadre des articles du Traité de 2018 relatifs à la recherche transfrontalière et de la mise en sécurité des traces et des preuves en situation d'urgence. Tout en prenant note de ces avis, les auteurs du projet de loi recommandent de suivre le Conseil d'État et de supprimer les articles 2 à 8 du projet de loi.

En ce qui concerne le titre 6 du Traité de 2018, relatif à l'intervention transfrontalière d'unités spéciales, nouveau par rapport au Traité du 8 juin 2004, la Chambre des fonctionnaires et employés publics soulève une incohérence entre les articles 53, paragraphe 8 et 59, paragraphe 2 : « Selon l'article 53, paragraphe 8, les membres des unités spéciales de la Police grand-ducale, notamment les tireurs d'élite, n'ont pas le droit de procéder à un tir de neutralisation, étant donné qu'ils ne disposent pas de cette compétence au Luxembourg. Ce droit leur semble pourtant être conféré à travers l'article 59, paragraphe 2, qui les autorise à tirer avec des armes dans les mêmes conditions légales que les membres des unités spéciales de la partie contractante sur le territoire de laquelle ils se trouvent. Selon les informations dont dispose la Chambre, un tir de neutralisation serait possible aux Pays-Bas, donc aussi pour les membres des unités spéciales luxembourgeoises en mission aux Pays-Bas.

Cette insécurité juridique dans le Traité risque de résulter dans des situations ingérables pour un fonctionnaire en situation de stress. Il ne faut pas perdre de vue que les missions se déroulent à l'étranger dans le respect du droit de l'État d'accueil, droit avec lequel aucun

¹ Directive (UE) 2016/680 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 27 avril 2016 relative à la protection des personnes physiques à l'égard du traitement des données à caractère personnel par les autorités compétentes à des fins de prévention et de détection des infractions pénales, d'enquêtes et de poursuites en la matière ou d'exécution de sanctions pénales, et à la libre circulation de ces données, et abrogeant la décision-cadre 2008/977/JAI du Conseil

² Règlement (UE) 2016/679 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 27 avril 2016 relatif à la protection des personnes physiques à l'égard du traitement des données à caractère personnel et à la libre circulation de ces données, et abrogeant la directive 95/46/CE (règlement général sur la protection des données)

fonctionnaire n'est aussi familiarisé que celui relevant dudit État (et dont le droit est son droit national). ».

Le titre 6 a été inséré pour la raison que les unités spéciales des Pays-Bas ne se composent pas seulement de policiers, mais également de membres des forces armées. En outre, les législations belge et néerlandaise contiennent des dispositions spécifiques concernant l'usage d'armes par les unités spéciales, alors que le Luxembourg ne fait pas de distinction entre les membres de la Police.

La Belgique prévoit par ailleurs des dispositions spécifiques relatives aux demandes d'assistance d'unités spéciales étrangères, dont le Traité s'est inspiré, d'où certaines formulations qui pourraient donner lieu à confusion. Toutefois, l'article 53, paragraphe 8 du Traité ne laisse pas de doute, puisqu'il dispose expressément que les membres des unités spéciales « ne peuvent en aucun cas exercer des compétences dont ils ne disposent pas dans leur propre pays ». Si l'article 59 du Traité prévoit que les membres des unités spéciales, compétents dans leur pays pour utiliser des armes automatiques ou des armes à feu de précision de longue portée, peuvent « tirer avec ces armes dans les mêmes conditions légales que les membres des unités spéciales de la Partie Contractante sur le territoire de laquelle ils se trouvent », il s'agit des conditions d'utilisation des armes par les unités spéciales et non pas d'une règle générale de compétence, celle-ci faisant l'objet de l'article 53, paragraphe 8 et ne permettant aucune exception. Ceci ressort aussi clairement du commentaire de l'article 53, paragraphe 8. L'article 59 signifie ainsi également que l'utilisation des armes est limitée pour les membres des unités spéciales étrangères sur le territoire luxembourgeois. L'article 35 du Titre 5 « Compétences » du Traité reflète d'ailleurs les règles générales de compétences en limitant en outre les compétences des fonctionnaires qui interviennent sur le territoire d'une autre partie contractante à celles dont ils disposent dans leur propre droit national, cet article s'appliquant aussi aux membres des unités spéciales, en vertu d'une répétition de ce principe à l'article 53 et en vertu d'une référence directe à l'article 35 par l'article 54. Finalement, le Traité prévoit par son article 61 un garde-fou général par la possibilité pour une partie contractante de refuser l'autorisation ou l'exécution d'une mesure qui porterait atteinte à son droit national.

Les représentants ministériels font savoir qu'en outre, le Directeur de l'Unité spéciale de la Police grand-ducale (USP) a expliqué que ces principes sont clairs aux yeux de tous les commandants des forces spéciales et l'étaient toujours, de sorte que ceux-ci ne voient pas de contradiction dans le texte. En outre, des « règles of engagement » sont déterminées avant chaque intervention ; en pratique, ces règles se limitent toujours à la légitime défense. De cette manière, les autorités étrangères connaissent les compétences des policiers luxembourgeois et ne leur donneraient pas d'ordres qui iraient à l'encontre de ces compétences, et même si de tels ordres étaient donnés, les policiers luxembourgeois peuvent refuser de les exécuter en vertu de l'article 61 du Traité de 2018.

✚ M. Jean-Marie Halsdorf (CSV) souhaitant obtenir des précisions sur la possibilité prévue par le traité de conclure des accords d'exécution, une représentante ministérielle fait savoir qu'au cours de l'élaboration du Traité, un tableau contenant les arrangements et accords prévus a été élaboré, déterminant aussi ceux qui sont prioritaires et celles des parties contractantes participant aux différents arrangements et accords. Des changements peuvent toujours être apportés en cas de besoin. Six accords prioritaires avaient été prévus et devront être mis en œuvre avec l'entrée en vigueur du Traité. Ces accords sont actuellement en cours d'élaboration, la Police étant associée aux travaux ; des réunions ministérielles de coordination entre les trois États ont régulièrement lieu.


✚ M. Marc Goergen (Piraten) voudrait savoir si les interventions hélicoptérées transfrontalières sont également réglées par le Traité, l'orateur insistant sur l'importance de celles-ci.

De la part du ministère, la réponse à cette question est négative. Le Traité s'applique aux interventions transfrontalières dans les trains et sur les navires (article 26), mais ne règle pas celles dans l'espace aérien. Si rien n'est prévu à l'heure actuelle, cela n'empêche pas de se pencher sur cette question pour la régler ultérieurement.

Spécialement en matière de poursuite transfrontalière, le projet de loi 7891³ a été déposé au mois de septembre 2021 pour mettre à jour les modalités de la poursuite transfrontalière dans les pays voisins. En vertu de l'article 41, paragraphe 9 de la Convention d'application de l'Accord de Schengen du 14 juin 1985 entre les Gouvernements des Etats de l'Union économique Benelux, de la République fédérale d'Allemagne et de la République française relatif à la suppression graduelle des contrôles aux frontières communes, signée à Schengen, le 19 juin 1990, chaque partie contractante a fait au moment de la signature de la Convention une déclaration unilatérale, où elle a défini « les modalités d'exercice de la poursuite sur son territoire pour chacune des parties contractantes avec laquelle elle a une frontière commune ». Dans le cadre de la mise à jour de ces modalités, une référence sera faite au nouveau Traité Benelux, en ce qui concerne la Belgique ; pour ce qui est de la France, la limite de 10 km pour les poursuites transfrontalières de part et d'autre est supprimée et une liste d'infractions permettant une telle poursuite est établie. À l'égard de l'Allemagne, la limite de 10 km qui lui avait été imposée, mais n'existait pas envers le Luxembourg, est également supprimée ; il en va de même pour celle actuellement imposée aux agents allemands qui ne peuvent traverser la frontière que pour une infraction de la liste prévue par l'article 41, paragraphe 4, lettre a) de la Convention mentionnée ci-dessus : la poursuite sera dorénavant possible pour toute infraction pouvant donner lieu à la délivrance d'un mandat d'arrêt européen (article 41, paragraphe 4, lettre b) de la même Convention).

En ce qui concerne la seconde question du même député relative à l'applicabilité du Traité à l'usage des armes à l'étranger par le personnel de protection rapprochée d'un État contractant, l'article 25 intitulé « Transport et accompagnement transfrontaliers de personnes et de biens » prévoit la conclusion d'un arrangement ou d'un accord d'exécution. Le formulaire à remplir pour chaque accompagnement existe déjà par le Traité de 2004 et est remanié (introduction du format pdf, de la signature électronique, etc.). Les informations à fournir à l'aide de ce formulaire sont notamment l'heure d'entrée sur le territoire de l'autre État, les noms des policiers et leurs armes ; les policiers sont en principe autorisés à porter leur équipement régulier sur le territoire de l'État d'accueil. L'article 39 du Traité règle en détail le transport et le port d'armes et de munitions ; les articles 42 à 44 ont consacré à l'utilisation de véhicules, l'identification des policiers et leur visibilité extérieure.

M. Goergen ayant en outre abordé les interventions sur le territoire français, la France ne faisant pas partie des contractants du Traité, il est rappelé que l'accord de Schengen règle ces interventions en partie. Ces dispositions étant assez larges, un groupe de travail vient d'être institué pour revoir l'Accord entre le Gouvernement du Grand-Duché de Luxembourg et le Gouvernement de la République française relatif à la coopération dans leurs zones frontalières entre les autorités de police et les autorités douanières, signé à Luxembourg, le 15 octobre 2001 et régler tout en détail, dont le passage et le transit, prévu par le Traité entre les pays du Benelux à l'article 32, mais actuellement non réglé entre le Luxembourg et la France, ni d'ailleurs entre le Luxembourg et l'Allemagne.

 M. Carlo Back (déi gréng) s'intéressant aux interventions concrètes qui ont déjà eu lieu en application du Traité de 2004, le ministère fait savoir que la plupart des interventions sont

³ Projet de loi 7891 portant approbation de la déclaration unilatérale du Gouvernement du Grand-Duché de Luxembourg définissant les modalités de la poursuite transfrontalière en application de l'article 41, paragraphe 9, de la Convention d'application de l'Accord de Schengen du 14 juin 1985 entre les Gouvernements des Etats de l'Union économique du Benelux, de la République fédérale d'Allemagne et de la République française relatif à la suppression graduelle des contrôles aux frontières communes, signée à Schengen, le 19 juin 1990

des accompagnements de personnes en mission dans un État contractant (ministres, membres de la famille grand-ducale) et des missions de rapatriement passant par l'aéroport de Bruxelles ou d'Amsterdam, ainsi que l'accompagnement de personnes sans document d'identité aux ambassades dans le cadre de l'enquête d'identification. Entre la Belgique et le Luxembourg, il y a souvent aussi des demandes de soutien à l'occasion de démonstrations, en général dans le cadre du maintien de l'ordre.

Le Traité Benelux de 2018 prévoit au titre 2 l'échange de données à caractère personnel et d'informations, tout comme le Traité de 2004, mais cet échange se fait avant tout à travers le Centre de coopération policière et douanière (CCPD).

2. Evaluation vum CO2-Ausstouss duerch d'Infrastrukturen an d'dreifstoffintensiivt Material vun der Lëtzebuerger Arméi (Motioun vum Här Marc Goergen vum 10. März 2021)

Il convient de rappeler que le point figurant à l'ordre du jour sous rubrique trouve son origine dans une motion déposée par M. Marc Goergen (*Piraten*) en date du 10 mars 2021.

En effet, il y a lieu de relever que ladite motion invite le Gouvernement à

« dass d'Lëtzebuerger Arméi eng Evaluatioun vun hirem CO2-Ausstouss maache soll an dësen, ënnert der Konditioun an der Beschränkung, dass dës Donnéeën net déi national Sécherheet a Gefor bréngen, am Detail soll verëffentlechen. ».

La présidente de la Commission, Mme Stéphanie Empain (déi gréng), invite M. le Ministre de la Défense ainsi que les représentants de la Direction de la Défense à présenter les résultats d'une analyse effectuée à ce sujet.

En guise d'introduction, le Ministre de la Défense, M. François Bausch, souligne qu'à l'heure actuelle, seulement trois pays ont effectué une analyse des émissions de CO₂ de leur Défense respective, à savoir la Norvège, le Royaume Uni ainsi que le Luxembourg. À ce titre, l'orateur précise que l'analyse pour le Grand-Duché applique la même méthodologie qui est utilisée pour le cas norvégien. En outre, il y a lieu de relever que le Luxembourg s'engage pour une approche commune au niveau de l'OTAN et au niveau de l'Union européenne. En effet, il convient de noter que des discussions ont été menées avec l'OTAN et la *European Defense Agency* afin de définir une telle approche commune.

Suite à cette introduction, le représentant de la Direction de la Défense en charge du dossier fournit des informations complémentaires sur la méthodologie employée et les résultats issus de cette analyse.

Tout d'abord, l'orateur expose que l'analyse des émissions liées à la Défense prend en considération les activités de la Direction de la Défense et de l'Armée luxembourgeoise, tant au niveau national qu'au niveau international. Dans ce contexte, il y a lieu de relever que l'analyse prend en compte non seulement les émissions causées par les infrastructures appartenant à ces institutions, mais également les services commandés et financés auprès de prestataires privés. Cependant, les émissions liées à des missions de l'Union européenne, de l'ONU ou de l'OTAN ainsi que le soutien de projets et programmes internationaux ne sont pas pris en compte.

En ce qui concerne les émissions prises en compte, la méthodologie du *Life Cycle Assessment* (LCA) a été retenue. Cette approche prend en compte à la fois (1) les émissions directement

créées par les infrastructures utilisées, (2) les émissions utilisées pour produire de l'électricité et (3) les émissions en lien avec la production de biens et services achetés.

Pour l'année 2019, les émissions liées à la Défense peuvent être chiffrées à approximativement 19 330 tonnes CO₂-équivalents, provenant principalement d'émissions liées à la production de biens et services achetés (environ 60 pour cent des émissions). Les différentes infrastructures en lien avec la Défense sont responsables pour environ 37 pour cent des émissions, alors que la production d'électricité a causé 3 pour cent des émissions. Le représentant de la Direction de la Défense met en évidence que ces émissions correspondent à environ 1,5% des émissions globales du Grand-Duché.

Une comparaison des émissions entre 2017 et 2020 révèle que les émissions de l'Armée et de la Défense étaient particulièrement élevées en 2018 et en 2020. En 2018, cette hausse s'explique par la production et le lancement du LuxGovSat. En 2020, une hausse considérable des émissions de l'aviation militaire a été constatée. Même si la mise en service de l'avion A400M a partiellement contribué à une hausse des émissions, une analyse détaillée montre clairement que cette hausse peut principalement être attribuée aux différentes missions de l'Armée dans le cadre de la pandémie de Covid-19. Ainsi, de nombreux vols de transport financés à travers le budget de la Défense ont causé la plupart des émissions en lien avec l'aviation militaire en 2020.

Face aux constats de cette analyse, le Ministre de la Défense revient sur le potentiel de réduire les émissions causées par la Défense et souligne que ces objectifs ne sauraient être réalisés qu'à moyen terme.

Les mesures comprennent :

- une réduction des émissions dues à l'infrastructure par des travaux de rénovation favorisant des économies d'énergie ainsi que le recours à des sources d'énergie renouvelables ;
- l'acquisition de véhicules consommant moins d'énergie et de véhicules qui utilisent des sources d'énergie alternatives ;
- des synergies dans l'aviation militaire permettant une utilisation plus efficace des avions ;
- des investissements dans la recherche de nouvelles technologies ;
- une politique d'achat de biens et services plus consciente des émissions émises ; et
- des mesures de compensation.

Il y a lieu de relever qu'une présentation préparée par la Direction de la Défense est annexée au présent procès-verbal.

Suite à ces explications, M. Marc Goergen (Piraten) soulève les questions suivantes :

- Comment les émissions de la consommation électrique peuvent-elles être expliquées, alors que la plupart des fournisseurs d'électricité propose des offres sur la base d'énergies renouvelables ?
- Les critères pour pouvoir bénéficier de primes lors de l'achat d'un nouveau véhicule sont-ils appliqués comme critères pour sélectionner des nouveaux véhicules civils ?
- Existe-t-il une comparaison entre le Luxembourg et les deux autres pays qui ont effectué une analyse similaire ? Serait-il envisageable de faire une analyse des émissions par soldat ?
- Est-il envisagé de prendre en compte l'impact environnemental lors de l'achat de nouveaux véhicules ?

M. François Bausch donne à considérer qu'une analyse détaillée de l'impact environnemental n'est pas réalisable dès le début d'une procédure d'acquisition, alors que de telles acquisitions

sont souvent effectuées par des marchés publics, où il n'est pas toujours certain quelle société participera au marché public. Cependant, il y a des efforts pour prendre en compte des critères écologiques dans les cahiers de charge. L'orateur précise que le remplacement de la flotte de véhicules de l'Armée est estimé amener une réduction des émissions.

En ce qui concerne la comparaison avec d'autres pays, il y a lieu de soulever que les émissions en lien avec la Défense dans ces pays constituent environ la même proportion des émissions globales de ces pays. Le représentant de la Direction de la Défense précise qu'un calcul par soldat n'a pas encore été effectué. Au vu du nombre limité de soldats dans l'Armée luxembourgeoise, il est possible qu'une telle mesure soit plus importante dans le cas luxembourgeois.

L'orateur expose également que le calcul des émissions liées à l'électricité tient compte de la distribution moyenne des sources d'électricité pour déterminer les émissions. De plus, les émissions provenant de la production de l'infrastructure nécessaire au transport de l'électricité et d'autres facteurs sont également pris en compte.

Procès-verbal approuvé et certifié exact

Annexes ad 2. : 1) Présentation PPT
2) Article « Assessing life cycle greenhouse gas emissions in the Norwegian defence sector for climate change mitigation »



**Bilan provisoire des émissions
de gaz à effet de serre de la
Défense luxembourgeoise
&
Initiatives et défis principaux
pour les réduire**

Commission parlementaire
Défense/Sécurité intérieure
3 décembre 2021



1. Périmètre étudié
2. Méthodologie utilisée: Life Cycle Assessment (LCA)
3. Résultats préliminaires
4. Défis principaux pour réduire nos émissions
5. Conclusions & Recommandations



Périmètre institutionnel:

- Direction de la Défense, Ministère des Affaires étrangères et européennes (47 agents)
- Armée luxembourgeoise (environ 1'000 agents militaires et civils)

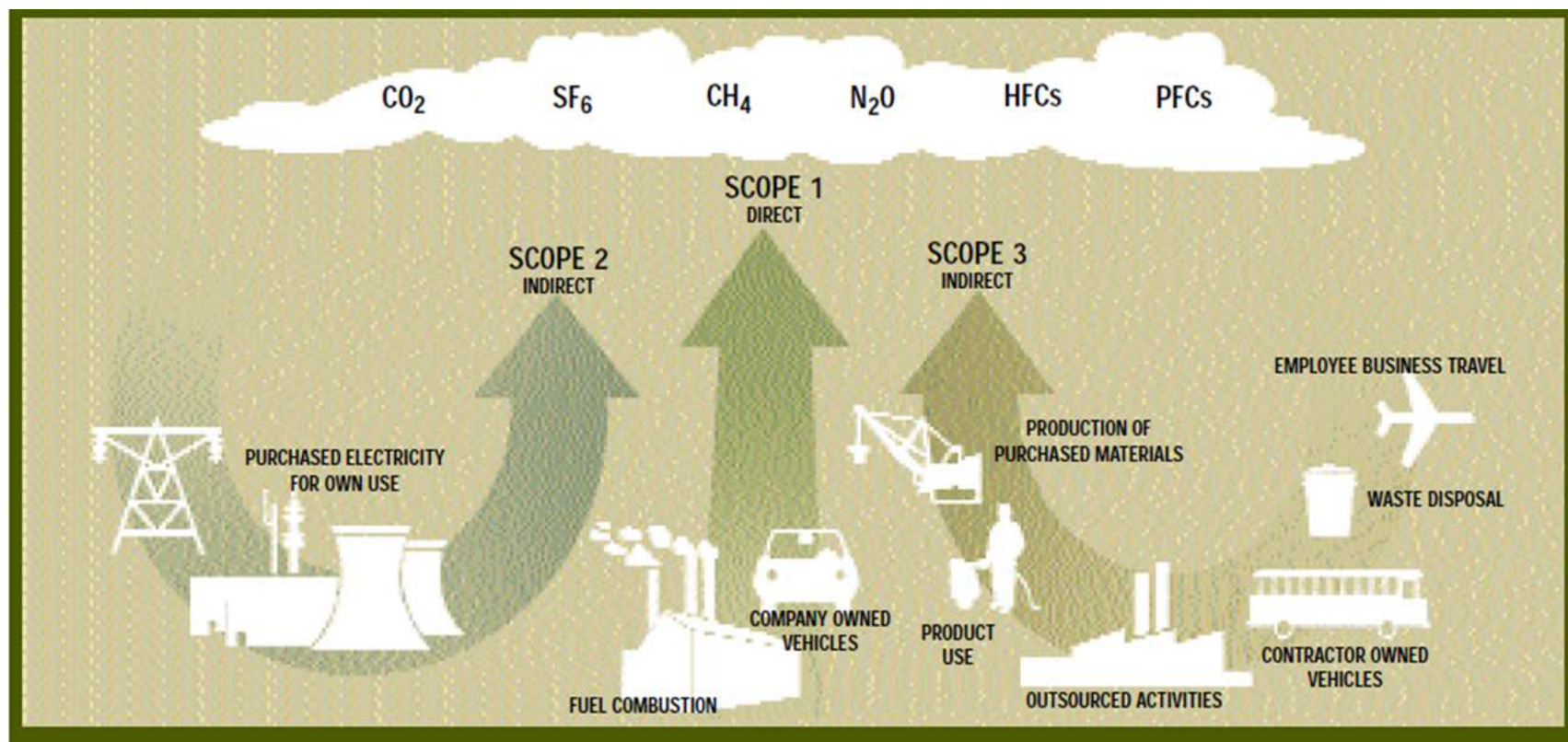
Périmètre géographique:

- Luxembourg: toutes les infrastructures et activités
- Étranger:
 - Déplacements professionnels à l'étranger
 - Activités aériennes financées (A400M, MRTT, AWACS, vols aériens commandés et financés auprès de prestataires privés)
 - Production et lancement LuxGovSat
- Exclu:
 - Émissions intra-théâtres des missions UE, ONU et OTAN avec participation LU
 - Soutien à des projets et programmes de partenaires internationaux

2. Méthodologie : Life Cycle Assessment



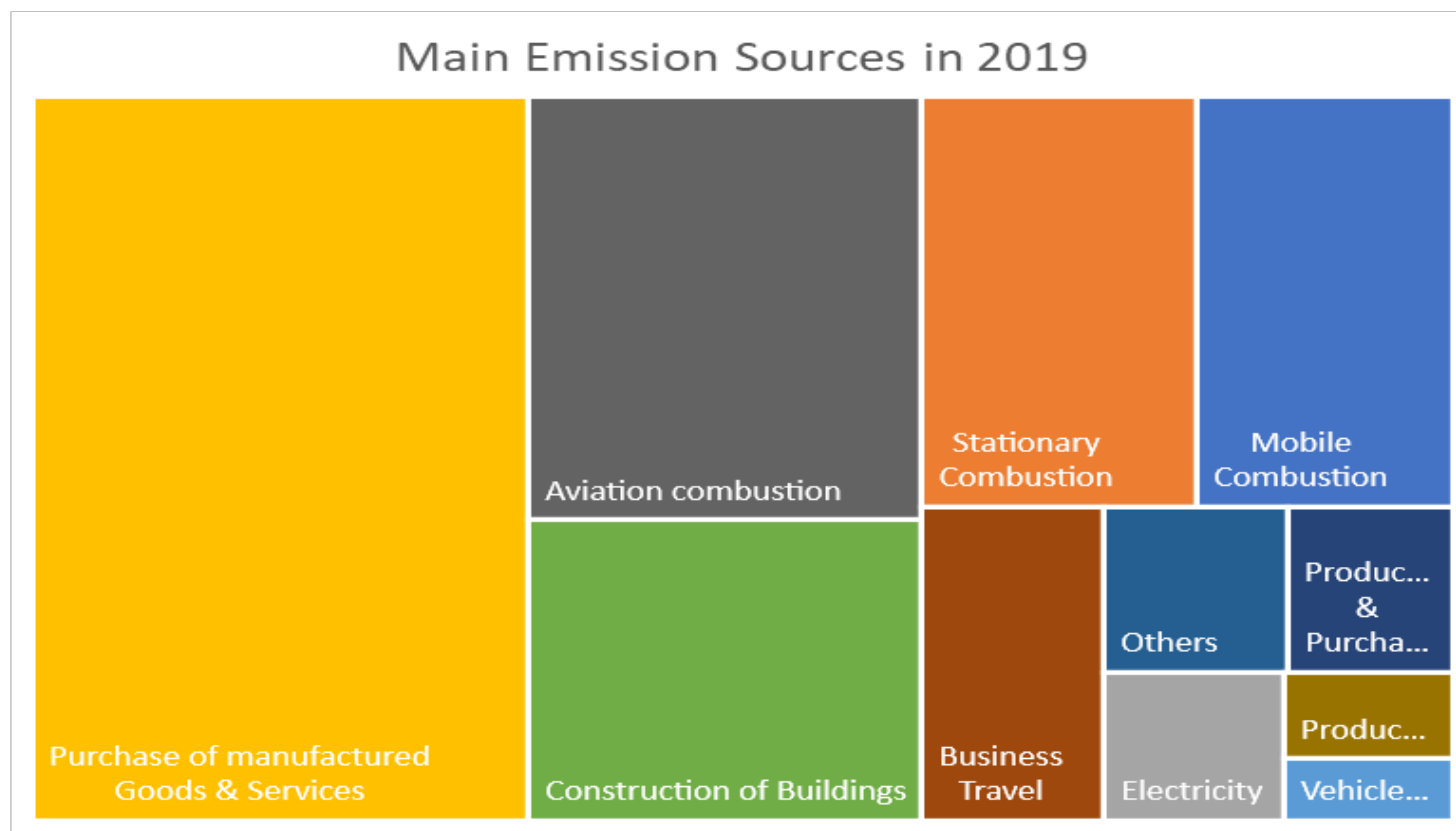
- Life Cycle Assessment (LCA) comptabilise les sources d'émissions suivantes:
 - **Scope 1:** Émissions directes dues à la combustion dans des infrastructures, véhicules et avions, fuite de gaz et utilisation de produits chimiques
 - **Scope 2:** Émissions indirectes dues à la production de l'énergie électrique achetée
 - **Scope 3:** Émissions indirectes dues à la production de biens et services achetés



3. Résultats préliminaires (I)



- **Émissions totales en 2019 : ~ 19'330 t CO₂-équivalents**
 - **Scope 1:** ~ 7'252 t CO₂-équivalents (~ 37 %)
 - **Scope 2:** ~ 503 t CO₂-équivalents (~ 3 %)
 - **Scope 3:** ~ 11'575 t CO₂-équivalents (~ 60%)



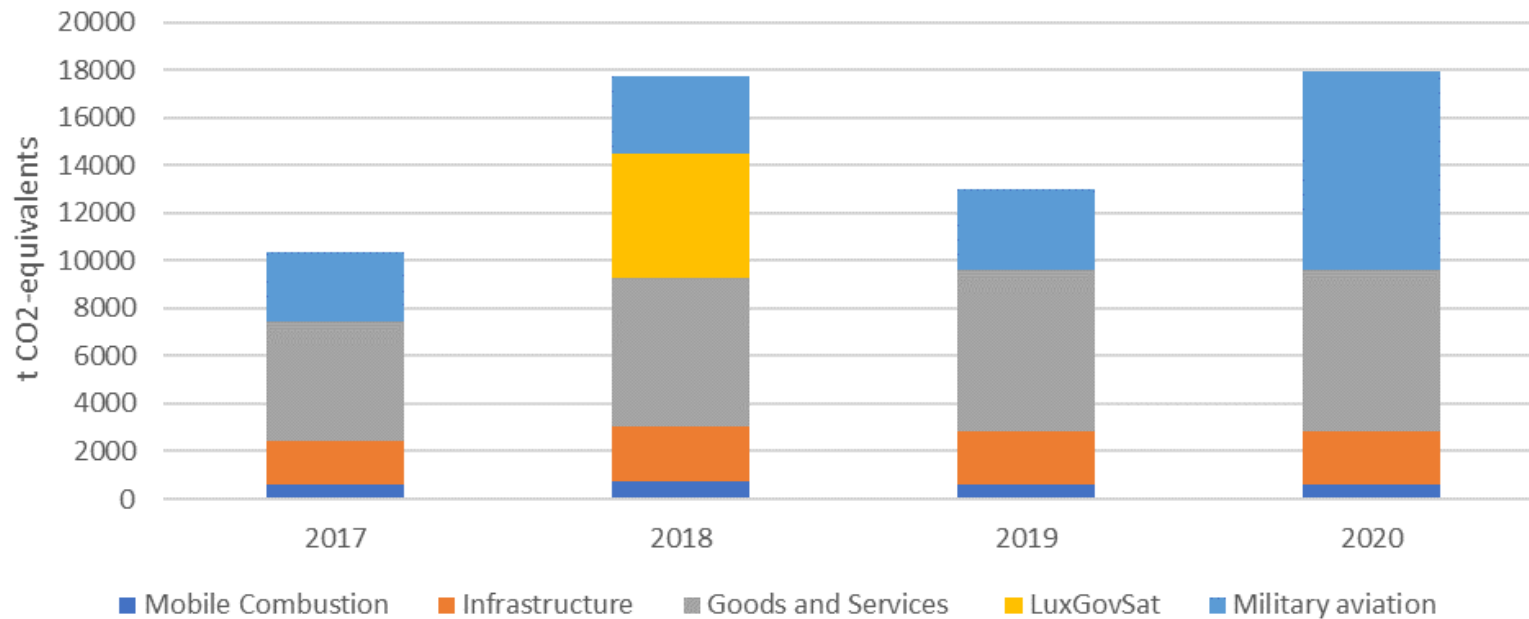
3. Résultats préliminaires (II)



➤ 5 sources principales d'émissions:

1. Production de biens et services achetés
2. Aviation militaire (besoins nationaux et tiers)
3. LuxGovSat production et lancement (uniquement en 2018)
4. Immeubles
5. Véhicules automoteurs

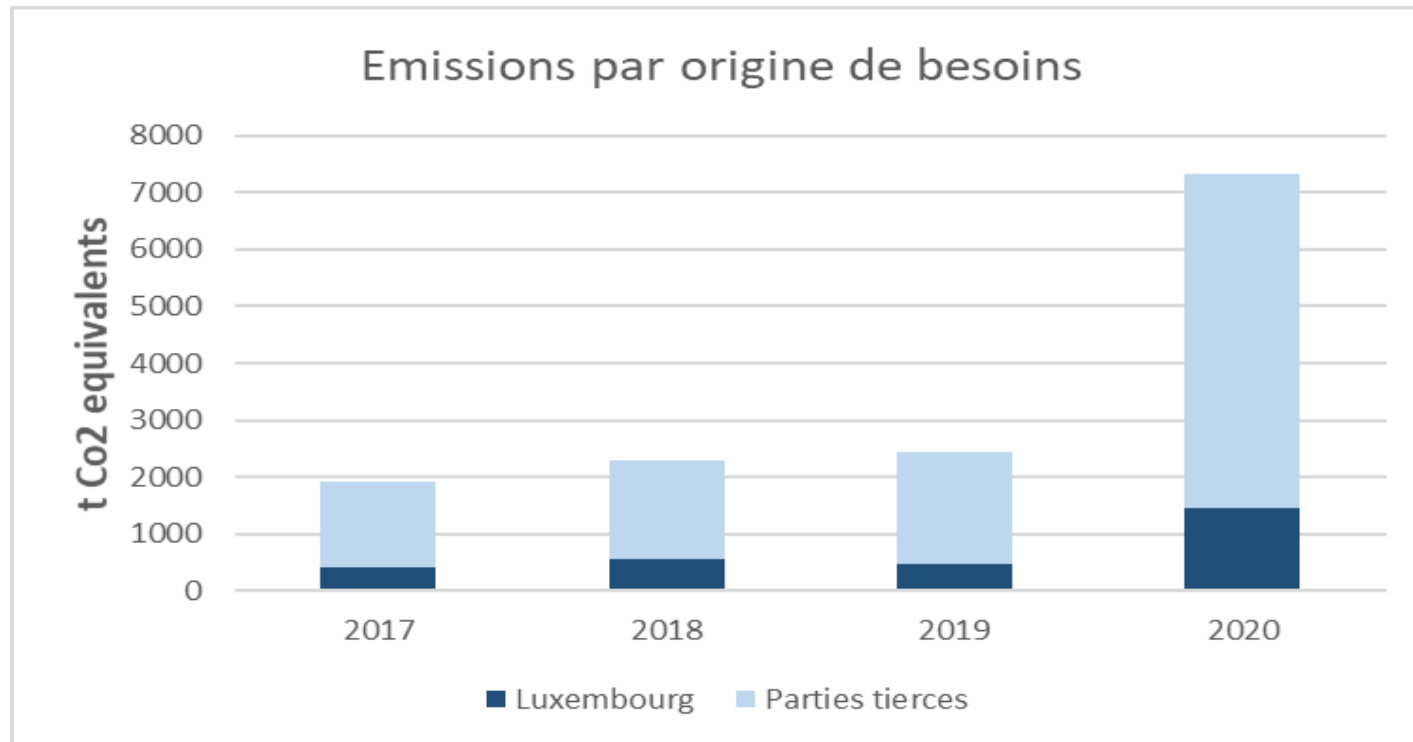
Sources d'émissions principales 2017 - 2020



3. Résultats préliminaires (III)



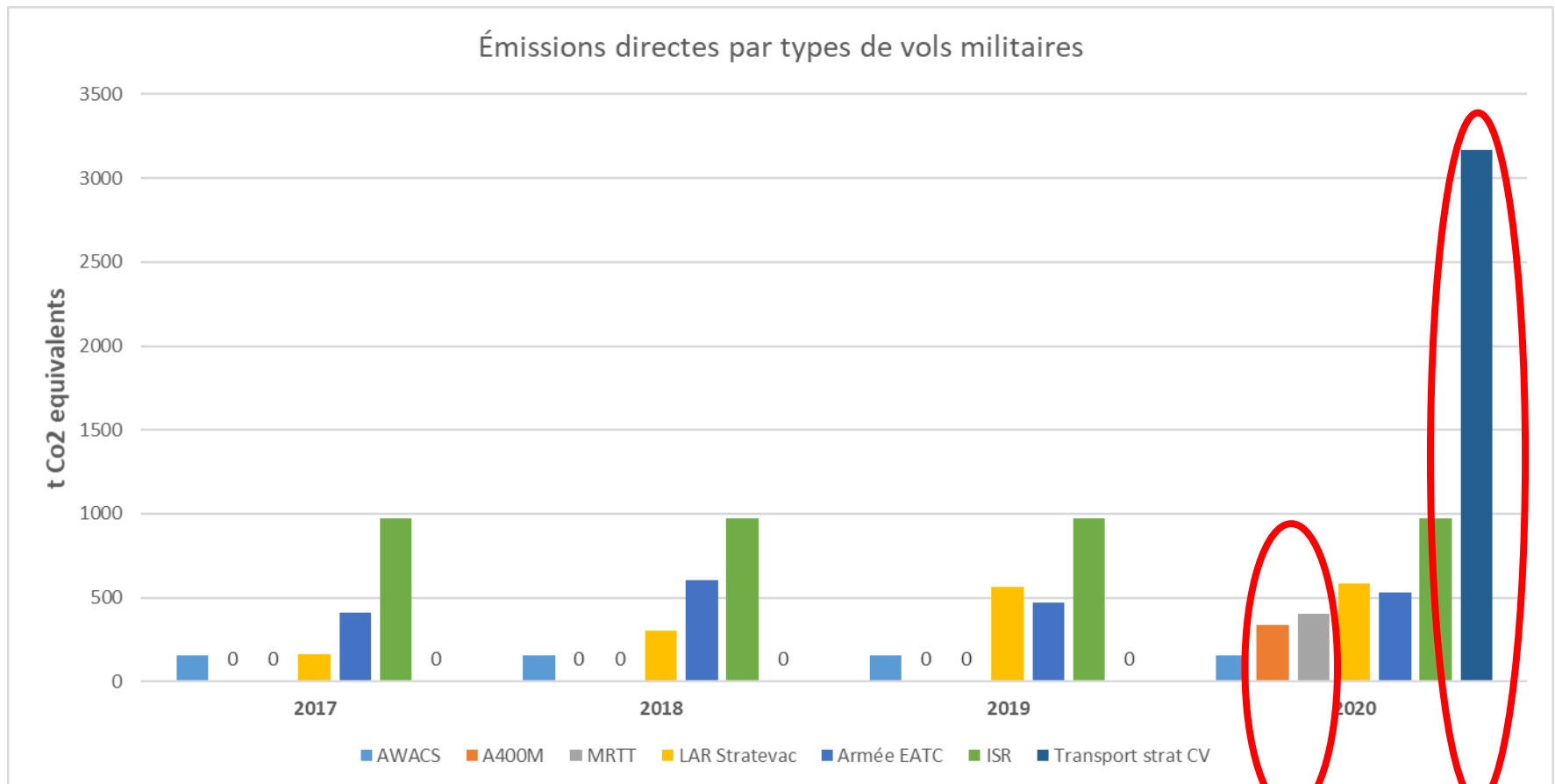
- **Évolution des émissions directes de l'aviation militaire par origine des besoins: près de 80% des vols ont été effectués au profit de parties tierces**



3. Résultats préliminaires (IV)



- **Émissions directes par types de missions:** forte augmentation en 2020, due aux transports liés à la COVID et, dans une moindre mesure, à la participation au programme MRTT et à l'arrivée de l'A400M



4. Comment réduire l'empreinte carbone de la Défense luxembourgeoise?



1. Emissions dues à l'infrastructure :

- Technologies disponibles sur le marché (isolation, énergies renouvelables, efficacité énergétique, construction durable)
- Rénovation de la caserne du Herrenberg: **réduction des émissions liées au chauffage projetée de 78%**, malgré une augmentation de la surface des immeubles de 25%
- Augmentation de la part des énergies renouvelables dans la fourniture d'énergie: production d'énergie électrique PV (47% – 62% de la consommation totale); **réduction des émissions liées à l'achat d'énergie électrique projetée de 50%**;
- Construction durable (pas de chiffres disponibles à ce stade).

4. Comment réduire l'empreinte carbone de la Défense luxembourgeoise?



2. Émissions dues à l'opération de véhicules/avions :

Problème: il n'existe pour le moment pas encore de véhicules/avions militaires neutres en carbone sur le marché

- **“Joint procuring” & “Pooling & sharing” des capacités avec d'autres alliés :**
 - permet de réduire les émissions indirectes (moins d'engins achetés) et contribue également à une meilleure interopérabilité des capacités;
 - présente des efficiences en matière d'opération et de maintenance (e.g. flotte binationale BE-LU de A400M, EATC, MRTT);
- **Incorporer les émissions carboniques comme critère dans les futurs processus d'acquisition:**
 - Électrification de la flotte de véhicules civils de l'Armée: 21% plugin hybrid, 21% full electric;
 - Critères d'efficacité énergétique dans les futurs processus d'acquisition de véhicules militaires;

4. Comment réduire l'empreinte carbone de la Défense luxembourgeoise?



2. Émissions dues à l'opération de véhicules/avions (continued):

- **Besoin de carburants et systèmes de propulsion neutres en carbone:**
 - Augmenter les investissements dans le R&D et l'innovation technologique [**Demande politique LU au niveau UE & OTAN**]
 - Dédier un % accru du Fond européen de Défense à la R&D de technologies neutres en carbone [**Demande politique LU au niveau UE**]
 - Dédier un certain % des dépenses liées à la Défense à la R&D de technologies neutres en carbone (renforcement de l'autonomie stratégique européenne);
 - **Public-private partnerships:** p.ex. création d'un fond VC de l'OTAN pour investir dans le développement de technologies émergentes;
 - Secteur de la Défense comme « **testbed** » pour des technologies et systèmes de propulsion neutres en carbone;

4. Comment réduire l'empreinte carbone de la Défense luxembourgeoise?



3. Émissions dues à la production de biens et services achetés:

- “Green procurement”: acheter des biens et services avec le moins d’impact environnemental;
- Prioriser les achats des biens et de services provenant de producteurs certifiés « durable » et « local » (p.ex. alimentation, textiles);
- Besoin de **fermer les cycles de matériaux**: introduction des **principes de l’économie circulaire** (design, réutilisation, recyclage) dans les chaînes de valeurs militaires [**soutien avec COM d’un nouveau groupe de travail en création à l’Agence européenne de Défense**]
 - Dimension durabilité et réduction de l’empreinte carbone
 - Dimension stratégique: réutiliser les matériaux rares pour renforcer notre autonomie stratégique en tant que UE

4. Comment réduire l'empreinte carbone de la Défense luxembourgeoise?



4. Carbon sinks / Puits de carbone:

- « **Carbon offsetting** »: compenser les émissions, qui ne sauraient être réduites à ce stade, à travers l'acquisition de certificats d'émissions générés dans le cadre de projets internationaux de séquestration de gaz à effet de serre (p.ex. projets de reboisement durable ou d'efficacité énergétique, de préférence projets certifiés « Gold Standard » ayant également un impact positif en matière de développement humain et social)
- 400'000 EUR ont été réservés dans le budget de l'Etat 2022 au titre de la Défense pour un projet pilote en matière de « carbon offsetting »

5. Conclusions & Recommendations



1. Réduction des émissions liées aux infrastructures: projet de rénovation de la caserne du Herrenberg lancé
2. Réduction des émissions liées à l'achat de biens et services: très grande dépendance de l'étranger
3. Besoin d'une coopération renforcée (UE / OTAN) et investissements en R&D pour:
 - a. Carburants et systèmes de propulsion neutres en carbone;
 - b. Chaînes de valeurs neutres en carbone : mise en œuvre des principes de l'économie circulaire
 - c. Benchmarks & labels universels pour un "green procurement"
 - d. Engagement politique pour un financement accru du R&D (l'industrie européenne attend)
 - e. Utilisation plus efficace des outils européens en la matière (PESCO, EDA, EDF & coopération UE-OTAN)



Merci de votre aimable attention!



Assessing life cycle greenhouse gas emissions in the Norwegian defence sector for climate change mitigation

Magnus Sparrevik ^{a, b, *}, Simon Utstøl ^c

^a Department of Industrial Economics and Technology Management, Norwegian University of Technology, Trondheim, Norway

^b Norwegian Defence Estates Agency, Oslo, Norway

^c Norwegian Defence Research Establishment, Kjeller, Norway

ARTICLE INFO

Article history:

Received 4 August 2019

Received in revised form

27 October 2019

Accepted 5 November 2019

Available online 7 November 2019

Handling Editor: Richard Wood

Keywords:

Climate change mitigation

Defence sector

Life-cycle greenhouse gas emission calculations

ABSTRACT

The military sector is an important global player in terms of monetary expenditure and resource use. However, reporting of military greenhouse gas emissions is often embedded into other activities and quantitative estimations are scarce. This paper assesses the life cycle greenhouse gas emissions from the Norwegian defence sector from an organisational perspective. The total annual emissions add up to 0.8 million tonnes of CO₂ equivalents, corresponding to approximately 1.1% of the national emissions from Norwegian consumption. The results show that upstream activities are the main contributors to emission (68%), with only 32% allocated to the reporting organisation. From a management perspective, this distinction is important since these emissions may be mitigated through green procurement practices, in contrast to direct emissions that require operational reductions.

© 2019 The Authors. Published by Elsevier Ltd. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introduction

World military expenditure is estimated to have reached \$1739 billion, representing 2.2 percent of the global gross domestic product (GDP), in 2017 (Tian et al., 2018). The military sector and defence industry are therefore major global players, using considerable resources and subsequently affecting the environment. Even though the environmental impact of military activities has been discussed and debated for centuries, few documented studies of the sector's environmental impact exist and most are connected to biodiversity and land use (Hanson, 2018; Lawrence et al., 2015; Nuttall et al., 2017; Vertegaal, 1989; Zentelis et al., 2017). Indirect correlations between military energy use, especially fossil fuel use, and greenhouse gas (GHG) emissions have been discussed previously (Bildirici, 2017; Clark et al., 2010; Nuttall et al., 2017), but quantitative estimations are scarce. According to the Kyoto protocol and, subsequently, the Paris agreement, emissions from military activities are to be included in the national emissions inventory if

they are accrued within national borders. Reporting of overseas activities or impacts of warfare is not required. The emissions from military activities are often embedded into other activities, such as energy production, transportation, and industrial activities, or taken out of the reporting (Michaelowa and Koch, 2001). A few studies on sector-specific calculations of greenhouse gas emissions in the UK and Australia have been found, indicating that defence activities contribute to approximately 1% of the annual emissions of greenhouse gases in these countries (Bailey, 2009; Wood and Dey, 2009). Figures from the US are within the same range, varying from 25.4 million tonnes annually from direct fuel consumption (Belcher et al., 2019) to 172 million tonnes including electricity use and upstream emissions (Liska and Perrin, 2010). This is equivalent to 0.5–3.3% of the total US emissions in 2017 (EIA, 2019).

Emissions from fossil fuel and from energy production (often referred as scope 1 and 2) are compulsory to report according to the ISO 14 064 greenhouse gas reporting standard (Weng and Boehmer, 2006), since they can be directly connected to the reporting organisation. However, it is likely that multiple impacts may also arise from indirect emissions originating from both upstream and downstream in the value chain (scope 3), which are only partly influenced by the reporting organisation. Indirect emissions may occur in all life cycle stages and their contribution to the overall life cycle emissions may be substantial (Hertwich and Wood, 2018;

* Corresponding author. Department of Industrial Economics and Technology Management, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway.

E-mail address: magnus.sparrevik@ntnu.no (M. Sparrevik).

Hertwich and Peters, 2009), especially for large procuring organisations such as the military sector (Huang et al., 2009).

The concept of organisational life cycle assessments (O-LCA), proposed by the UNEP/SETAC initiative (Martínez-Blanco et al., 2015a), encompasses the aspects of life cycle and multiple impacts from an organisational perspective, and may be used to better assess the total impact of GHG from the military sector. Although LCA for procurement of defence material has been discussed in part (Hochschorner and Finnveden, 2006; Liska and Perrin, 2010), information about the wider life cycle impact from military activities is practically non-existent in the present scientific literature. This paper is, to our knowledge, the first advance in the field in many years, and the first to conduct a complete analysis evaluating production, operational, and end-of-life greenhouse gas emissions using the basics of the O-LCA framework. The research outlined in this paper applies an organisational perspective to assess life cycle GHG emissions for the Norwegian defence sector in order to evaluate climate-change mitigation strategies.

The paper is organised as follows. First, we discuss the O-LCA framework and how it may be adapted to the defence sector. Next, we analyse the GHG emissions of the Norwegian defence sector from an organisational perspective. Considering the findings, we discuss the impact of the results with a special focus on measures for greenhouse gas reduction. Finally, we draw conclusions, discuss benefits and limitations, and suggest a direction for future research.

2. Materials and methods

2.1. Main elements of O-LCA

In contrast to traditional LCA, which focuses on assessing the life cycle impacts of products or services, the O-LCA takes a much broader organisational perspective. As defined by UNEP/SETAC (Martínez-Blanco et al., 2015b), 'O-LCA uses a life cycle perspective to compile and evaluate the inputs, outputs and potential environmental impacts of the activities associated with an organisation and the provision of its product portfolio'. Most of the differences from product LCA lie in how results are reported, how system boundaries are defined, and how data is collected. When setting the scope of the analysis, it is necessary to clearly define the reporting unit organisation, the outflow or portfolio which is used, and system boundaries consistent with all direct and indirect activities affected by the organisation's activity (Martínez-Blanco and Finkbeiner, 2018). Data collection in O-LCA may be comprehensive, and can be based on collecting data for each product and service ('bottom-up' approach) or by assessing the impact from the organisation's input and output ('top-down' approach). Hybrid solutions may also be feasible.

An O-LCA should address all of the multiple impacts from activities involving all impact categories in the LCA. The Norwegian defence sector may impact the environment in multiple ways. Emission of greenhouse gases occurs directly from fossil fuel consumption and indirectly from use of resources and energy. Military training in shooting ranges and training fields directly impact the environment through emissions into the air, water, or soil and through noise generation. In addition, biodiversity and nature conservation may be affected in training areas and facilities. However, practical conditions make it challenging to address multiple impacts in our case. First of all, most impacts are site-specific, and to adjust for local conditions (for example, in the hundreds of existing Norwegian shooting ranges) within the impact model would be beyond the scope of this aggregated study. Secondly, emission inventories and impact models for assessing indirect impacts only exist for a limited number of impact categories (Mattila, 2018). Finally, most non-climatic impacts are

regulated through detailed discharge permits from environmental authorities, limiting the use of the comprehensive results for management purposes. Restricting the assessment in this study to greenhouse gas emissions seems reasonable, but also deviates from the original O-LCA definition (Martínez-Blanco et al., 2015a).

2.2. Goal and scope

2.2.1. Reporting organisation

The Norwegian defence sector is governed through the Ministry of Defence (MoD), enacting governance of four underlying agencies whereof the Armed Forces (AF) is the largest. In addition, the sector contains the Defence Estates Agency (NDEA), the Norwegian Defence Research Establishment (FFI), and the Defence Material Agency (NDMA). Even though environmental data is available at the agency or even sub-agency or unit level, the sector as a whole has been selected as the reporting organisation. The reason is twofold: i) environmental performance is in practice highly inter-linked between agencies even though they are administratively divided, and ii) some of the data in disaggregated form is not publicly available due to security restrictions.

2.2.2. Reporting flow

The study assesses greenhouse gas emissions from all operational activities in the Norwegian defence sector in 2017 based on the methodology in the IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories (IPPC, 2014). Gasses included are carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄), nitrous oxide (N₂O), and hydrofluorocarbons (HFCs). The greenhouse gas emissions are estimated separately, but presented as CO₂ equivalents (CO₂ eq.) in the Results section. Table 1 shows the global warming potential (GWP) values for the greenhouse gasses used in the study.

The reporting flow is the financial budget spent on all activities and assets connected with operating the armed forces during the reporting year. In 2017, this sum was 50.9 billion Norwegian crowns (NOK). The corresponding values for the years 2016 and 2018 were 49.1 and 55.0 billion NOK, respectively. Only economic flows causing greenhouse gas emissions, are considered in the study.

2.2.3. System boundaries

The included activities cover emissions from the complete life cycle, from production via operation to end of life (EoL). As indicated in Fig. 1, the system boundaries and allocation of activities into the value chain follow the requirement in the O-LCA guidelines and also, implicitly, the scope definition of ISO 14064 (with some exceptions). Emissions from ammunition and chemical use are added to fossil fuel consumption (scope 1) as a direct emission from the reporting organisation. Similarly, heating of buildings using fossil fuel or biofuels and fugitive emissions from refrigerants are included as direct emissions. Purchased goods and services and related military transportation and business travels are a part of

Table 1

Global warming potential (GWP) values for the greenhouse gasses used in the study. Based on 5th assessment report (IPPC, 2014).

Component	Chemical formula	GWP-value (100 y)
Carbon dioxide	CO ₂	1
Methane	CH ₄	34 ^a
Nitrous oxide	N ₂ O	298 ^a
Hydrofluorocarbons (HFC):		
HFC-32	CH ₂ F ₂	677
HFC-125	CHF ₂ CF ₃	3170
HFC-134a	CH ₂ FCF ₃	1300
HFC-143a	CH ₃ CF ₃	4800

^a Values include climate-carbon feedbacks.

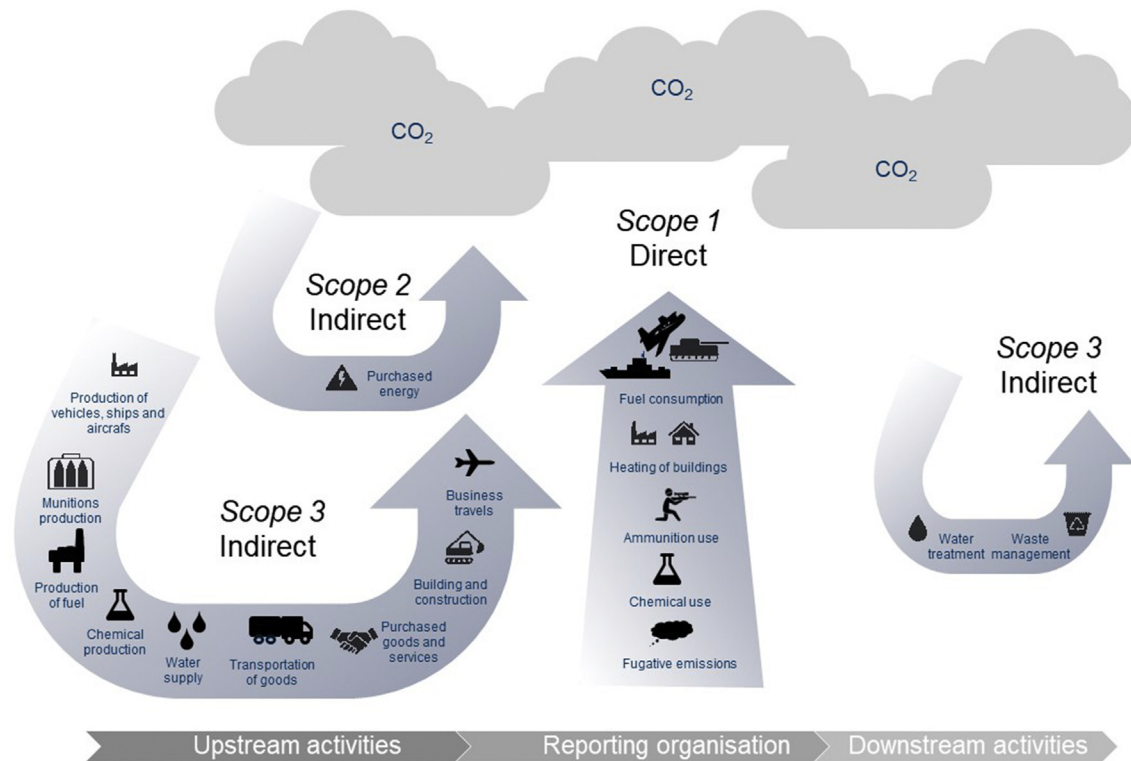


Fig. 1. System boundaries for the study divided in direct and indirect activities and distributed according to the value chain of the organisation.

indirect upstream emissions (scope 3). In addition, all production of fuel, chemicals, munition, and military vehicles fall into this category. Similarly, purchased energy (scope 2) and water supply are considered here. Generated waste and treated sewage water (scope 3) are considered as downstream by-products since waste is recycled to energy or recovered in new materials and therefore is delivered into subsequent material value chains. Following the reporting flow definition, acquisition of future or ongoing military assets and systems is not included. The reason is twofold. First, these acquisitions occur irregularly. This means commission intervals and the expected lifetime are highly uncertain, making allocation of emissions to a single year difficult. Second, the development of this equipment is classified, so access to environmental production data is restricted. GHG emissions of the military assets and systems already in use are included in the study, but are based on production emission data from comparable civilian equipment.

2.3. Life cycle inventory analysis

The Norwegian MoD requires all subordinate agencies to comply with the latest version of the ISO 14001 environmental management system (EMS). Significant environmental aspects are identified and reported by the defence sector and associated partners to the Norwegian Defence Environmental Database (NDED). All scope 1 and 2 inventories shown in Fig. 1 and scope 3 data concerning waste and business travel are monitored. This is a typical bottom-up system where data are reported through use of instrumental monitoring together with reporting from operating personnel and subcontractors. We use these data as the primary data source, taking the aggregated sectoral values for the year 2017 (Utstøl et al., 2018). Data is presented in the supplementary information (SI) in the form of tables where inventories are combined

with emission factors to calculate the annual emission of greenhouse gases.

According to the O-LCA guidelines, the analysis should include all upstream (and downstream) impacts (in this case GHG emissions), in addition to the direct ones. The sector makes large purchases of equipment and services, builds and refurbishes a number of properties every year, and produces indirect emissions from its operations. We have used the available NDED data in the calculations, but to quantify the totality using bottom-up reporting would be unfeasible given available time and resources. However, since all items are publicly procured, indirect emissions associated with purchased goods and services as declared in the national accounts and may be estimated by combining expenses for the different procurement categories with emission factors (CO_2 eq./NOK). The emission factors are derived from environmentally extended input-output analysis (EEIOA) using data from the year 2017 as a baseline. Values are taken from Larsen et al. (2017) and are replicated in the SI. The EEIOA links country-based economic consumption activities with GHG emissions, including imports of goods and services covering both upstream and downstream activities (Hendrickson et al., 1998; Kitzes, 2013). This top-down method does not allow impacts to be traced directly back to specific operations or environmental aspects, but it does make it possible to estimate the indirect GHG emissions of purchased goods and services from a wide variety of direct sectors without collecting physical data and modelling all working operations involved.

To summarise, the hybrid method proposed for this case uses a feasible combination of physical data for processes more closely related to operational activity and economic data for procured goods and services. A description of the life cycle inventory is given in Table 2, specifying the activities and type of inventory. For the complete inventory tables, see SI.

Table 2
Life cycle inventory of operational activities in the Norwegian defence sector for the year 2017.

Value chain	Activity	Description	Inventory type
Upstream activities	Vehicles, ships, aircraft	Production of land operated vehicles, ships and aircrafts	Process
	Munition	Production of munition	Process
	Fuel	Production of fuel used in vehicles and for heating	Process
	Chemical production	Production emissions from de-icing agents	Process
	Transportation	Contractor services for transportation of military goods, including maintenance	Economic
	Purchased energy	Purchased and own produced electricity and production emissions from heating	Process
	Water consumption	Drinking water used and waste water treated	Process
	Building and construction	Construction of buildings and facilities, including maintenance	Economic
	Purchased goods and services	ICT equipment, education, administrative and economic services. Operational cost of own machines and equipment. Purchase of uniforms, food and various materials	Economic
	Business travels	Emissions from personal transport using civilian vehicles (air transport and cars)	Process
Reporting organisation	Fuel consumption	Use of fossil fuel in military vehicles, ships and aircrafts	Process
	Heating of buildings	Operational emissions from heating (and cooling) of buildings	Process
	Ammunition use	Combustion of gunpowder	Process
	Chemical use	Decomposition of de-icing substances in air, water and soil	Process
	Fugitive emissions	Emissions from ozone depleting substances in heat pumps and air conditions	Process
Downstream activities	Waste management	Produced waste in organisation divided in material recovery, energy generation and disposal	Process

2.4. Life cycle GHG emissions and result interpretation

Unit processes based on the Ecoinvent database in Simapro 8.4 have been used to identify emission factors for production, operation, and EoL as indicated in the SI tables. Emission factors for electricity have been estimated using the method described in Utstøl et al. (2018), where the emissions are calculated based on the physical energy mix in Norway using a rolling 5-year average. The values are in the same range as life cycle emissions presented for hydropower-based energy systems (Turconi et al., 2013). Price mechanisms such as guarantees of origin (GO) are not included (Dahlstrøm et al., 2012).

To estimate the emission factors for production of military equipment, a proxy from the closest civilian type of equipment has been used since corresponding values for military equipment are unavailable. Fugitive emissions have been delegated to operation emissions, based on the study of Zhao et al. (2015) confirming that the service stage is responsible for 99% of life cycle emissions of refrigerants. Municipal and construction waste have been classified according to the respective recycling fractions with corresponding EoL emission factors. For fractions with material recovery, the substituted virgin material has been included as a positive impact (system expansion). Underlying the EEIOA, the emission factors presented in the SI are based on the domestic input-output table for 2014 published by Statistics-Norway (2018) and on the Eurostat statistics (2013) for import contributions (Eurostat, 2019). See also (Larsen et al., 2017). For a more detailed explanation of the methodology, see earlier published work by Larsen and Hertwich (2009, 2010a, 2010b).

The results of the study are interpreted in two ways. First, it is valuable to identify the GHG emissions of the whole organisation in order to correctly assess the impacts from a life cycle perspective. Second, the distinction between direct and indirect emissions gives a valuable overview of where emissions occur in the value chain, which is important for the mitigation management strategy.

2.5. Uncertainty analysis

Performing uncertainty analysis in an organisational study such as this one is challenging due to the aggregation of data from various product streams using different data sources and methods

(Martínez-Blanco and Finkbeiner, 2018). In this case, lack of disaggregated data due to data confidentiality adds to the challenge. In addition, EEIOA databases are complex and may produce different results depending on the underlying models, thus making disaggregation of uncertainties difficult (Dawkins et al., 2019). We therefore argue that instead of focusing on quantifying the statistical aleatoric uncertainty as in traditional LCA (Lesage et al., 2018), the epistemic uncertainties important to the organisational perspective may be better illustrated by qualitative discussion. In this paper we have illustrated and discussed uncertainties both by comparing process and EEIOA results and by evaluating the variation in estimates of overall GHG emissions based on different electricity mixes.

3. Results

3.1. Carbon footprint in the value chain

The estimated emissions suggest that the Norwegian defence sector is responsible for 807 764 tonnes of CO₂ eq. or 1.1% of the annual GHGs emitted in the Norwegian economy in 2017, taking into account procurement and imports (Fig. 2). In total, the public sector is responsible for 16% of Norwegian GHG emissions, which are dominated by household consumption (62%) (Larsen, 2019). Globally, Hertwich and Peters (2009) found similar values with 10% of GHG emissions related to government consumption, 72% related to households, and the remaining 18% related to investments.

Table 3 presents results distributed across the value chain, separated into three categories connected to activity. *Military assets and systems* include activities directly connected to the function of the armed forces, whereas *operational assets* include all the direct and indirect impacts from employees. *Building assets* represent all GHG emissions from constructing and operating facilities. The results show that upstream activities are the main contributors to emissions with 545 423 tonnes of CO₂ eq. (68%), with only 262 519 tonnes of CO₂ eq. (32%) allocated to the reporting organisation. Downstream activities give a small reduction of emissions due to substantial material recycling and subsequent replacement of virgin resources (−178 tonnes of CO₂ eq.). Emissions from the reporting organisation correspond well to scope 1 and 2 values in the official greenhouse gas account for 2017, amounting to 268 939

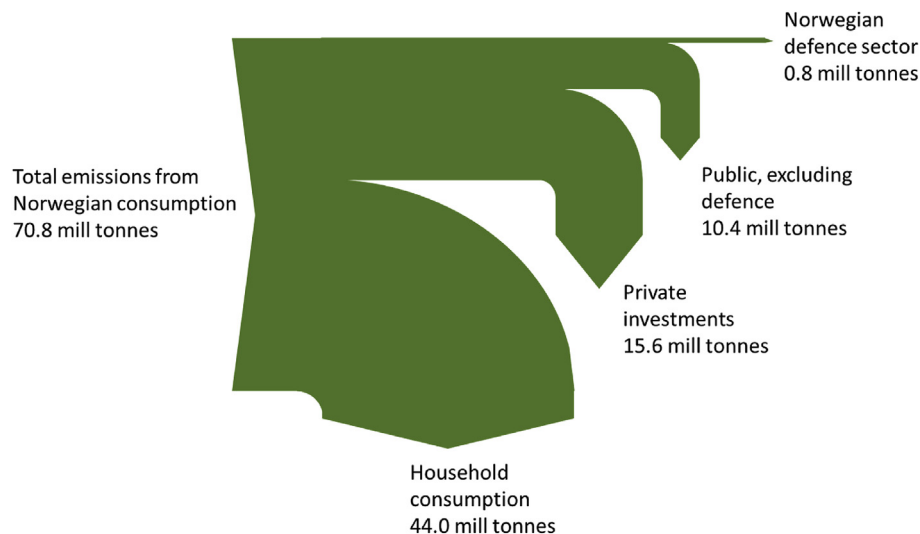


Fig. 2. The contribution from the Norwegian defence sector to total life cycle greenhouse gas emissions from consumption in the Norwegian economy in 2017. Values for the defence sector are taken from this study, whereas the other values are taken from [Larsen \(2019\)](#).

Table 3

Life cycle greenhouse gas emissions in the Norwegian defence sector for the year 2017. Tonnes CO₂-eq. pr year.

Activity	Source	Annual emissions (tonnes CO ₂ eq. pr year)				Activity total
		Upstream	Reporting	Downstream	Total	
Military assets and systems	Vehicles, ships, aircraft	10 832	–	106	10 938	370 313
	Fuel	41 611	248 088	–	289 699	
	Munition	5343	0.06	–377	4966	
	Transportation	64 710	–	–	64 710	
Operation assets	De-icing activity	2293	426	–	2719	269 218
	Operation	96 048	–	–	96 048	
	Services	40 912	–	–	40 912	
	Other	36 850	–	–	36 850	
	ICT	23 647	–	–	23 647	
	Competence	6737	–	–	6737	
	Personnel	4930	–	–	4930	
	Communication	2816	–	–	2816	
	Business travels	55 721	–	–	55 721	
	Waste management	–	–	–1162	–1162	
Building assets	Purchased energy	7298	–	–	7298	168 233
	District heating	577	1453	–	2030	
	Local heating	2867	11 774	–	14 641	
	Water consumption	849	–	1255	2104	
	Fugitive emissions	–	778	–	778	
	Building and construction	141 382	–	–	141 382	
		545 423	262 519	–178	807 764	

tonnes of CO₂ eq. ([Utstøl et al., 2018](#)). However, scope 3 emissions are significantly lower in the official account (53 822 tonnes of CO₂ eq.), suggesting that the included data does not currently reflect the full upstream impact. Our finding that the dominant contribution to emissions arises from upstream activities is not unusual for large procuring organisations and is well in accordance with the literature ([Larsen et al., 2013](#); [Lo-Iacono-Ferreira et al., 2017](#); [Thurston, 2011](#)).

3.2. Main contributors to emissions

Regardless of other sources, combustion of fossil fuels in military vehicles, ships, and aircraft remains, as expected, the largest single contributor to GHGs from the sector. As indicated in the treemap presented in [Fig. 3](#), military assets and systems, with fossil fuel use as the dominant contributor, represent approximately 50%

of the impact. The remaining emissions are equally distributed between operational and building assets. The operational category consists of a conglomerate of sources, with air-related business travel alone responsible for 7% of the total emissions. Constructing buildings, including production of building materials, is the most important source of emissions in the building category (18% of the total) and dominates over, for example, purchased energy and heating of buildings.

3.3. Uncertainties and limitations of the study

This study uses a hybrid approach with a combination of physical and economic data for the life cycle assessment. [Perkins and Suh \(2019\)](#) discuss uncertainty in hybrid LCA and concludes that this combination is more accurate (closeness of the estimate to the true value) than process LCA, while losing in precision

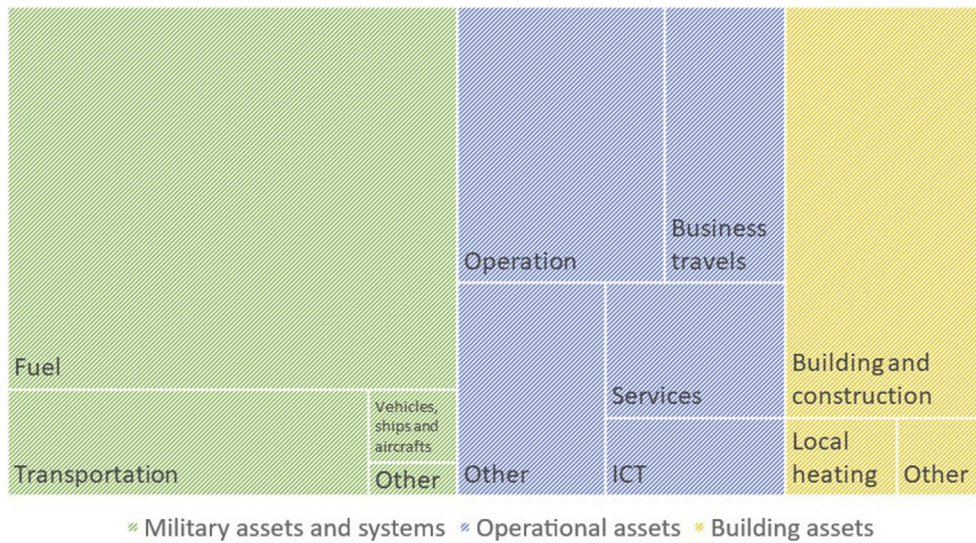


Fig. 3. Treemap showing contribution of the main emissions sources to the life cycle greenhouse gas emissions in the Norwegian defence sector for 2017.

(closeness of agreement among estimates). Uncertainty may be reduced by replacing the most uncertain data with high-precision supplier data. We see this discrepancy in practice for the cases with complementary process and EEIOA data. Business travel shows higher economic emission data compared to process-based LCA (100 971 versus 55 721 tonnes CO₂ eq.). Fuel consumption exhibits the opposite behaviour (68 750 and 289 699 tonnes CO₂ eq., respectively). This is indeed a large variation and may be rooted in how accurately the data represent the aggregated emissions and whether military price mechanisms are equivalent to civilian conditions. In this study we have used physical data when possible to reduce uncertainty, according to the recommendation by Perkins and Suh (2019). However, to encompass the broad scope of the O-LCA, we need to use all available data while acknowledging the imprecision of the economic data which are obtained from publicly available procurement information. As discussed earlier, we view this approximation of military conditions by available civilian data as the largest contributor to uncertainty in the LCA. The emission factors for military equipment in use are taken from the most closely related civilian equipment even though development, production, and cost differ. Using defence-specific emission factors for development and production would most certainly add significantly to the calculated indirect emission values in this study. At the present stage we have not been able to quantitatively assess these uncertainties due to lack of information.

Furthermore, the main uncertainty in the calculation of GHG emissions relates to the characterisation factor used. Here we consider the handling of emissions from purchased energy to be the most important aspect. Following the NDED recommendation for physical allocation of the sources of produced electricity, the emissions from energy consumption are 7315 tonnes CO₂ eq. (13.3 g CO₂ eq. per kWh) or 1% of the total GHGs in 2017. Applying the emission factor corresponding to the average energy mix in Europe for 2017 (296 g CO₂ eq. per kWh) produces the very different result of 162 800 tonnes, equivalent to an 18% contribution to the total emissions; see also the sensitivity analysis in the SI. In addition, including different energy scenarios in the EEIOA emission factors produces a $\pm 10\%$ difference from the values used (Nordic values for production, EU values for import) (Larsen, 2019). The impacts of these variations for management strategies are further discussed.

4. Discussion

The O-LCA guidance document (Martínez-Blanco et al., 2015a) addresses goals in terms of analytical, managerial, and societal aspects. For an enterprise, this typically involves a better understanding of the environmental performance in the life cycle, involving both impacts that are directly controlled by the reporting organisation and emissions occurring upstream in the supplier stage or downstream on the consumer side. These findings may then affect environmental management and strategic decisions. The ultimate societal goals would be to reduce environmental pressure where it may be done most effectively, independent of the organisational borders. Reduction of direct emissions is often highly prioritised in environmental management, since it often relates to the emissions under the direct control of the organisation.

In comparison with the national greenhouse gas account for Norway, the contribution from military sectoral activities is relatively small (1.1%), so a reduction will not have large national impact. Acting with other public procurers in a joint effort to reduce the impact from public investments would, however, be effective from a national perspective.

Nevertheless, these values add to previous studies and are interesting since emission values from the sector are often embedded in the national accounts and have not previously been quantified. Based on worldwide military expenditure, the global emissions from the military sector are substantial (Belcher et al., 2019) and more detailed knowledge of emission sources is important to select proper management strategies on a global level. Notably, while other reported figures mostly focus on combustion of fossil fuel in military assets and systems, we find that this is only responsible for a third of the life cycle emissions of the organisation. Including the indirect emissions from procurement of goods and services would certainly boost the global impact from the sector.

Fossil fuel use in tactical operations and training is the single largest GHG contributor, in line with previous studies, and confirms combustion of fossil fuels as an important emission source to mitigate (Bailey, 2009; Liska and Perrin, 2010; Wood and Dey, 2009). Renewables are already heavily used in Norway and the contribution from fossil fuel in purchased energy is low. However, with increased connectivity in the energy systems within the EU,

the composition of the physical energy mix will change. The sensitivity analysis then suggests that the enhanced environmental impact of continued energy savings and increased on-site renewable production will become more beneficial also in Norway.

Bailey (2009) describes carbon reduction strategies for the military sector in terms of short-, medium-, and long-term horizons. *Short-term* initiatives operate with present technology and involve emission control by, for example, use of land power supply for ships, operational optimisation of training activities, or energy savings. *Medium-term* involves use of new renewable energy technology and a transition to renewable fuels in fleet operation. The *long-term* involves a complete transition to renewable fuels, including electricity and hydrogen, in land, marine, and air transportation.

The short-term transition is currently in progress in the military sector. Already substantial effort has been devoted to the net-zero energy concept, reducing the direct impact from military installations and activities (Goodsite and Juhola, 2017; Moschetti et al., 2019). The European Defence Agency (EDA) foresees this development and acknowledges that a transition to renewables is necessary (EDA, 2019). Medium- and long-term initiatives largely depend on the interest of involved parties and the evolution of technology in the civilian sector. However, reducing dependence on fossil fuel in military operations is also highly prioritised for tactical reasons (Nussbaum, 2017). A substitution of biofuel or electricity worldwide would also reduce the likelihood of the need for military inventions and might consequentially be beneficial for reducing GHGs from military activities (Liska and Perrin, 2010).

Even though this strategy may be effective, there are challenges in reducing the operational emissions from the use of fossil fuel in military ships, aircrafts, and vehicles. Their technology and design are different from civilian requirements and their operation is based on tactical and operational requirements rather than environmental optimisation. The life cycle of military assets and systems is long and replacements happen slowly. It is therefore interesting to see that upstream emissions supersede the direct ones in the study. This has previously been confirmed for households (Ala-Mantila et al., 2014), and the present study uncovers a similar pattern in the defence sector. The strategy for mitigating indirect emissions is different than operational reductions and will require implementation of environmental requirements for goods and services through implementation of green public procurement (GPP). This may involve effective resource use in production, energy savings, and waste minimisation for the producers of goods and services. Interestingly, this strategy of GPP has recently been found to be a more effective mitigation strategy than reduction of direct emissions within the organisation (Hertwich and Wood, 2018; PWC, 2010; Sparrevik et al., 2018). Requirements to reduce the embodied GHG emissions from building materials can be an effective emission strategy since building and construction activities are especially resource intensive (Wiik et al., 2018). Business travel by air is another significant aspect with potential for decarbonisation and reduced impact (Murphy et al., 2018).

5. Conclusions

This study demonstrates that organisational life cycle assessment provides an effective instrument to map GHG emissions from a large and complex organisation such as the Norwegian defence sector. Applying a hybrid approach using both process and economic LCA allows the calculations to capture both user and procurement interphases without extensive collection of inventory data. The strength of this approach is its ability to address the totality, acknowledging that substantial uncertainties exist. The EEIOA emission factors are based on national or supranational data

and are less suitable for monitoring the effect of mitigation efforts on a local scale. It is therefore recommended that process data be used to monitor progress of mitigation actions for selected focus areas. More research on uncertainty assessment will be important to properly address GHG mitigation strategies.

The results of the study suggest further refinements of the GHG mitigation strategy for the defence sector. Efforts to reduce fossil fuel use and increased use of renewables both in transportation and for housing are warranted, but should be carefully balanced with efforts to reduce the indirect emissions from suppliers of goods and services.

Declaration of competing interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Acknowledgments

The authors would like to thank Håvard Jacobsen, whose master's thesis represented the starting point for the research presented in this article. The authors appreciate fruitful discussions about the implementation of consumption-based impact factors with Hogne Larsen from Asplan Viak. The authors also thank anonymous reviewers for their contribution. This paper is a part of the research program SISVI (Sustainable Innovation and Shared Value Creation in Norwegian Industry), which is supported by the Norwegian Research Council.

Appendix A. Supplementary data

Supplementary data to this article can be found online at <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119196>.

References

- Ala-Mantila, S., Heinonen, J., Junnila, S., 2014. Relationship between urbanization, direct and indirect greenhouse gas emissions, and expenditures: a multivariate analysis. *Ecol. Econ.* 104, 129–139.
- Bailey, J.J., 2009. Is it practical for defence to reduce its carbon emissions without affecting its effectiveness? *Def. Stud.* 9 (1), 47–84.
- Belcher, O., Bigger, P., Neimark, B., Kennelly, C., 2019. Hidden Carbon Costs of the "Everywhere War": Logistics, Geopolitical Ecology, and the Carbon Footprint of the US Military. *Transactions of the Institute of British Geographers*.
- Bildirici, M.E., 2017. The effects of militarization on biofuel consumption and CO₂ emission. *J. Clean. Prod.* 152, 420–428.
- Clark, B., Jorgenson, A.K., Kentor, J., 2010. Militarization and energy consumption. *Int. J. Sociol.* 40 (2), 23–43.
- Dahlstrøm, O., Sørnes, K., Eriksen, S.T., Hertwich, E.G., 2012. Life cycle assessment of a single-family residence built to either conventional- or passive house standard. *Energy Build.* 54, 470–479.
- Dawkins, E., Moran, D., Palm, V., Wood, R., Björk, I., 2019. The Swedish footprint: a multi-model comparison. *J. Clean. Prod.* 209, 1578–1592.
- EDA, 2019. In: Agency, E.D. (Ed.), Fact Sheet. Defence Energy Data 2016 & 2017. <https://www.eda.europa.eu/docs/default-source/eda-factsheets/2019-06-07-factsheet-energy-defence>.
- EIA, 2019. In: Administration, U.S.E.I. (Ed.), June 2019 - Monthly Energy Review.
- Eurostat, 2019. ESA Supply, Use and Input-Output Tables.
- Goodsite, M.E., Juhola, S., 2017. Green Defense Technology: Triple Net Zero Energy, Water and Waste Models and Applications. Springer.
- Hanson, T., 2018. Biodiversity conservation and armed conflict: a warfare ecology perspective. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 1429 (1), 50–65.
- Hendrickson, C., Horvath, A., Joshi, S., Lave, L., 1998. Peer reviewed: economic input-output models for environmental life-cycle assessment. *Environ. Sci. Technol.* 32 (7), 184A–191A.
- Hertwich, E., Wood, R., 2018. Environmental Research Letters.
- Hertwich, E.G., Peters, G.P., 2009. Carbon footprint of nations: a global, trade-linked analysis. *Environ. Sci. Technol.* 43 (16), 6414–6420.
- Hertwich, E.G., Wood, R., 2018. The growing importance of scope 3 greenhouse gas emissions from industry. *Environ. Res. Lett.* 13 (10), 104013.
- Hochschorner, E., Finnveden, G., 2006. Life cycle approach in the procurement process. *Case Defenc. Mater. Int. J. Life Cycle Assess.* 11 (3), 200–208.

- Huang, Y.A., Weber, C.L., Matthews, H.S., 2009. Categorization of scope 3 emissions for streamlined enterprise carbon footprinting. *Environ. Sci. Technol.* 43 (22), 8509–8515.
- IPCC, 2014. Greenhouse gas protocol global warming potential values. https://www.ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Global-Warming-Potential-Values%20%28Feb%2016%202016%29_1.pdf. Accessed 01.07.2019 2019.
- Kitzes, J., 2013. An introduction to environmentally-extended input-output analysis. *Resources* 2 (4), 489–503.
- Larsen, H., 2019. Klimafotavtrykket av offentlige anskaffelser. Beregning av klimafotavtrykket av offentlige anskaffelser for årene 2008 til 2017 (In Norwegian). In: Viak, A. (Ed.), Direktoratet for Forvaltning Og IKT (Difi).
- Larsen, H., Solli, C., Grorud, C., Ibenholt, K., 2017. The Carbon Footprint of Central Government Procurement. Evaluating the GHG Intensities of Government Procurement in Norway.
- Larsen, H.N., Hertwich, E.G., 2009. The case for consumption-based accounting of greenhouse gas emissions to promote local climate action. *Environ. Sci. Policy* 12 (7), 791–798.
- Larsen, H.N., Hertwich, E.G., 2010a. Identifying important characteristics of municipal carbon footprints. *Ecol. Econ.* 70 (1), 60–66.
- Larsen, H.N., Hertwich, E.G., 2010b. Implementing carbon-footprint-based calculation tools in municipal greenhouse gas inventories. *J. Ind. Ecol.* 14 (6), 965–977.
- Larsen, H.N., Pettersen, J., Solli, C., Hertwich, E.G., 2013. Investigating the carbon footprint of a university - the case of NTNU. *J. Clean. Prod.* 48, 39–47.
- Lawrence, M.J., Stemberger, H.L.J., Zolderdo, A.J., Struthers, D.P., Cooke, S.J., 2015. The effects of modern war and military activities on biodiversity and the environment. *Environ. Rev.* 23 (4), 443–460.
- Lesage, P., Mutel, C., Schenker, U., Margni, M., 2018. Uncertainty analysis in LCA using precalculated aggregated datasets. *Int. J. Life Cycle Assess.* 23 (11), 2248–2265.
- Liska, A.J., Perrin, R.K., 2010. Securing foreign oil: a case for including military operations in the climate change impact of fuels. *Environment* 52 (4), 9–22.
- Lo-Iacono-Ferreira, V.G., Torregrosa-López, J.I., Capuz-Rizo, S.F., 2017. Organizational life cycle assessment: suitability for higher education institutions with environmental management systems. *Int. J. Life Cycle Assess.* 22 (12), 1928–1943.
- Martínez-Blanco, J., Finkbeiner, M., 2018. Organisational LCA. In: Hauschild, M.Z., Rosenbaum, R.K., Olsen, S.I. (Eds.), *Life Cycle Assessment: Theory and Practice*. Springer International Publishing, Cham, pp. 481–498.
- Martínez-Blanco, J., Inaba, A., Finkbeiner, M., 2015a. Scoping organizational LCA—challenges and solutions. *Int. J. Life Cycle Assess.* 20 (6), 829–841.
- Martínez-Blanco, J., Inaba, A., Quiros, A., Valdivia, S., Milà-i-Canals, L., Finkbeiner, M., 2015b. Organizational LCA: the new member of the LCA family—introducing the UNEP/SETAC Life Cycle Initiative guidance document. *Int. J. Life Cycle Assess.* 20 (8), 1045–1047.
- Mattila, T.J., 2018. Use of input–output analysis in LCA. In: Hauschild, M.Z., Rosenbaum, R.K., Olsen, S.I. (Eds.), *Life Cycle Assessment: Theory and Practice*. Springer International Publishing, Cham, pp. 349–372.
- Michaelowa, A., Koch, T., 2001. Military emissions, armed conflicts, border changes and the Kyoto protocol. *Clim. Change* 50 (4), 383–394.
- Moschetti, R., Brattebø, H., Sparrevik, M., 2019. Exploring the pathway from zero-energy to zero-emission building solutions: a case study of a Norwegian office building. *Energy Build.* 188–189, 84–97.
- Murphy, A., Hemmings, B., Calvo Ambel, C., Buffet, L., Gilliam, L., Sihvonen, J., Earl, T., 2018. Roadmap to Decarbonising European Aviation. European Federation for Transport and Environment AISBL.
- Nussbaum, D., Dupuy, A., 2017. The cyber-energy nexus: the military operational perspective. Retrieved from. <https://search.proquest.com/docview/1966800458?accountid=12870> (Academic Conferences International Limited).
- Nuttall, W., Samaras, C., Bazilian, M., 2017. Energy and the Military: Convergence of Security, Economic, and Environmental Decision-Making.
- Perkins, J., Suh, S., 2019. Uncertainty implications of hybrid approach in LCA: precision versus accuracy. *Environ. Sci. Technol.* 53 (7), 3681–3688.
- PWC, 2010. Aerospace and Defence. Sector Climate Change Responses.
- Sparrevik, M., Wangen, H.F., Fet, A.M., De Boer, L., 2018. Green public procurement – a case study of an innovative building project in Norway. *J. Clean. Prod.* 188, 879–887.
- Statistics-Norway, 2018. National accounts. Supply and use and input-output tables. <https://www.ssb.no/en/nasjonalregnskap-og-konjunkturer/tables/supply-and-use-and-input-output>.
- Thurston, M., 2011. Assessing greenhouse gas emissions from university purchases. *Int. J. Sustain. High. Educ.* 12 (3), 225–235.
- Tian, N., Fleurant, A., Kuimova, A., Wezeman, P.D., Wezeman, S.T., 2018. Trends in World Military Expenditure, 2017. Stockholm International Peace Research Institute.
- Turconi, R., Boldrin, A., Astrup, T., 2013. Life cycle assessment (LCA) of electricity generation technologies: overview, comparability and limitations. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 28, 555–565.
- Utstøl, S., Melnes, M., Karlsrud, T.E., Prydz, P., 2018. Environmental Reporting in the Norwegian Defense Sector for 2017. The Norwegian Defence Research Establishment, Kjeller.
- Vertegaal, P.J., 1989. Environmental impact of Dutch military activities. *Environ. Conserv.* 16 (1), 54–64.
- Weng, C.K., Boehmer, K., 2006. Launching of ISO 14064 for greenhouse gas accounting and verification. *ISO Manag. Syst.* 15, 14–16.
- Wiik, M.K., Fufa, S.M., Kristjansdottir, T., Andresen, L., 2018. Lessons learnt from embodied GHG emission calculations in zero emission buildings (ZEBs) from the Norwegian ZEB research centre. *Energy Build.* 165, 25–34.
- Wood, R., Dey, C.J., 2009. Australia's carbon footprint. *Econ. Syst. Res.* 21 (3), 243–266.
- Zentelis, R., Lindenmayer, D., Roberts, J.D., Dovers, S., 2017. Principles for integrated environmental management of military training areas. *Land Use Policy* 63, 186–195.
- Zhao, L., Zeng, W., Yuan, Z., 2015. Reduction of potential greenhouse gas emissions of room air-conditioner refrigerants: a life cycle carbon footprint analysis. *J. Clean. Prod.* 100, 262–268.