Synthèse de connaissances

Différences physiologiques hommes-femmes dans le cadre du combat de haute intensité

Impact sur l'aptitude physique et risque pour la santé Quelles précautions pour le médecin ?

A. MALGOYRE[(1)], M. DARGAUD[(2)], N. KOULMANN[(3)]

(1,2) Institut de Recherche Biomédicale des Armées (IRBA), Département Environnements Opérationnels, Unité Physiologie de l'Exercice et des Activités en Conditions Extrêmes, Brétigny-sur-Orge
(1,2,3) École du Val-de-Grâce, Paris
(1,3) Laboratoire de Biologie de l'Exercice pour la Performance et la Santé, Département STAPS, Université Paris-Saclay, Évry

Auteur correspondant : a.malgoyre@yahoo.fr

Open access DOI
10.17184/eac.9264

Reçu
le 28/01/2025

Accepté
le 20/02/2025

Publié
le 5 mars 2025

Conflit d'intérêt
Les auteurs ne déclarent pas de conflit d'intérêt.

Résumé :
Les différences physiologiques hommes-femmes ont un impact sur leur aptitude physique respective et soulèvent des questions concernant l'intégration des femmes dans les unités de combat débarqué au prisme d'une hypothèse d'engagement majeur de haute intensité.
Les activités en force impliquant les membres supérieurs comme le port de charges lourdes et la marche prolongée en charge sont identifiés comme les points faibles des effectifs féminins. Mais un entraînement physique dédié, prenant en compte ces particularités physiologiques et y associant des contre-mesures nutritionnelles améliore leurs performances et limite le risque accru de blessures musculosquelettiques.
La mise en œuvre adaptée de l'Entraînement physique militaire et sportif (EPMS) ainsi que la surveillance de la charge d'entraînement sont alors cruciaux pour garantir et préserver les effectifs. Une synthèse de la littérature récente, associée à l'étude des exemples des armées américaines et britanniques, soulignent l'importance de choisir des critères de sélection spécifiques, adaptés à la sollicitation physique d'un emploi donné, et ce quel que soit le sexe. Assurer la santé des femmes combattantes et optimiser leur entraînement physique est un enjeu de maintien de la capacité opérationnelle. Le rôle du médecin militaire est central non seulement pour le suivi médical et la prévention primaire, mais également pour conseiller le commandement et accompagner les moniteurs EPMS.

Cet article de réflexion s'inscrit dans une démarche globale sur la préparation physique des militaires au combat de haute intensité.

Mots-clés : Aptitude à l'emploi. Différences sexuelles. Femmes militaires. Préparation physique. Médecine d'armée.

Abstract:
PHYSIOLOGICAL DIFFERENCES BETWEEN MEN AND WOMEN IN HIGH-INTENSITY COMBAT: IMPACT ON PHYSICAL FITNESS AND HEALTH RISKS - WHAT PRECAUTIONS SHOULD DOCTORS TAKE?
Physiological differences between men and women raise questions about the impact they have on physical fitness and the integration of women into ground close combat units in high intensity conflicts.
Strength activities involving the upper limbs, such as carrying heavy loads over long distances may be identified as a weakness in female soldiers. However, dedicated physical training improves performance. It is essential to take into account physiological differences, the increased risk of musculoskeletal injuries, and nutritional aggravating factors.
Appropriate implementation of military training and load monitoring are crucial to preserve military troops. A review of recent military literature combined with examples from American and British armies, highlights the importance of unisex and specific selection criteria, adapted to the mission's physical demand. Ensuring the health of female soldiers and optimising their physical training are key to maintaining operational capability. The role of the military doctor is not only central to medical monitoring and primary prevention but also essential when advising military hierarchy and trainers. This article is part of a general approach to the physical preparation of soldiers for high-intensity combat.

Keywords: Active-duty fitness. Sex differences.
Military women. Physical preparation. Military medicine.

À retenir

Pour assurer une capacité opérationnelle et une intégration optimale des femmes dans les unités de combat tournées vers la haute intensité, cet article propose :

- Une sélection orientée vers l'emploi : utiliser des tests physiques pertinents et spécifiques des tâches à réaliser.
- Un entraînement spécifique : mettre en place un EPMS adapté et maîtrisé tout au long de la carrière militaire, en ciblant les aptitudes physiques limitantes pour les femmes (notamment la force des membres supérieurs).
- Une gestion des risques spécifiques pour la santé des femmes liés à l'activité physique militaire : organisation de l'entraînement en terme de charge et de progressivité notamment dans les périodes à risque (formation initiale, post-partum), mise en place de contre-mesures additives liées aux besoins spécifiques (déficit énergétique, vitamine D).

Introduction

À ce jour, la perspective du combat de haute intensité place la question des différences physiologiques hommes-femmes dans un tout autre champ que celui de l'égalité entre les sexes. Il s'agit de couvrir les ressources humaines nécessaires pour assurer la faisabilité et la soutenabilité de tels enjeux. Pourtant, des différences biologiques notables liées au sexe existent. Elles se traduisent par un niveau d'aptitude physique globale des femmes en moyenne moindre que celui des hommes.

Ces différences peuvent retentir sur l'efficacité opérationnelle, notamment dans des postes à fortes sollicitations physiques. Ainsi une sélection, une orientation et une préparation physique générale et spécifique sont nécessaires en amont pour atteindre le niveau d'aptitude physique requis, limiter le risque de blessure et l'attrition (1–3).

Nous distinguerons deux notions : l'aptitude médicale à servir, pour laquelle le fait d'être une femme n'augmente pas le risque de contre-indication médicale à l'activité. La deuxième est l'aptitude physique réelle à tenir un poste, qui peut se définir comme la capacité de l'individu à soutenir l'entraînement physique nécessaire pour accomplir les tâches caractéristiques de ce poste, c'est-à-dire la capacité à réaliser ces tâches sans blessure et à les répéter quotidiennement ; la capacité à maintenir un entraînement adéquat sur l'ensemble de son contrat. L'ensemble des deux notions participent à l'employabilité d'un personnel, homme comme femme.

Cela nécessite une attention particulière des responsables de cet Entraînement physique militaire et sportif (EPMS) tant dans la phase d'évaluation que de mise en œuvre, le corps médical intervenant pour les conseiller afin d'évaluer la capacité à progresser en limitant la survenue de blessures. Il deviendrait ainsi possible d'orienter les personnels les plus « capables » vers les unités les plus exigeantes, le pouvoir décisionnel du médecin s'exprimant en restrictions d'emploi afin de préserver les effectifs les plus à risque de blessure, voire de syndrome de surentraînement. Les conseils des médecins exerçant dans les forces pourraient permettre de faire décliner un entraînement spécifique adapté aux personnels ainsi identifiés (4).

Au titre du conseil au commandement, les médecins pourraient encourager une mise à niveau physique avant même l'envoi en formation initiale. L'objectif étant, à l'instar de l'armée américaine sur les personnels à faible capacité physique, d'augmenter le vivier disponible au recrutement, de limiter l'occurrence des blessures micro-traumatiques, et d'assurer une capacité physique en adéquation avec l'emploi envisagé. La littérature a d'ores et déjà permis d'identifier des mesures efficaces[1] pour limiter l'attrition et améliorer de manière substantielle les capacités physiques des effectifs féminins (5–7). Certaines de ces mesures pourraient également être bénéfiques dans une population masculine. Ensuite, la définition de seuils minimaux d'aptitude physique liés aux postes à tenir, et indifférenciés par rapport au genre, permettrait une intégration sécurisée de certains personnels féminins y compris dans des unités de combat.
Pour parvenir à ce résultat, il faut tout à la fois, une sélection initiale optimale ainsi qu'un entraînement individualisé et dédié sur la première année d'engagement.

[1] diminution des distance de marche, renforcement des membres supérieurs, temps de formation allongé, etc.

Nos objectifs ici sont donc :

- d'identifier les principales différences physiologiques liées au sexe ;
- de comprendre l'amplitude différente de leur retentissement sur les qualités physiques ;
- d'analyser les étiologies d'un risque accru de blessures ;
- de proposer des méthodes de prévention primaire pour protéger la santé des femmes.

Cet article sert une réflexion qui pourra mener à des propositions organisationnelles par nos décideurs en vue d'assurer les besoins de recrutement et de fidélisation des effectifs. Il souligne d'une part, le rôle du médecin militaire dans la prévention primaire et la préservation de la santé de la force. Il apporte d'autre part, des éléments de connaissance générale pour accompagner le conseil au commandement et le positionnement du médecin des forces. Cet article, centré sur la physiologie féminine, n'est finalement qu'un prétexte pour proposer des adaptations de l'EPMS aux enjeux du recrutement et de notre société sédentaire. Il est également vrai que les contraintes spécifiques de l'EPMS peuvent exposer les femmes à des intolérances à la charge de l'entraînement qui se manifestent de manière singulière et doivent être connues afin de préserver la santé des femmes militaires à court et long terme (5,6).

1 Historique des connaissances médicales sur la santé des femmes et état des lieux de la féminisation dans les armées

De manière récente, la médecine s'intéresse aux particularités des femmes en dehors du champ de la gynécologie-obstétrique ; ainsi, des tableaux sémiologiques particuliers commencent à être enseignés (7). Dans les suites d'une campagne organisée aux États-Unis en 2017, le bureau de la santé des femmes de la *Food and Drug Administration* les encourage d'ailleurs à participer aux essais cliniques afin de tenir compte des variabilités de réponses médicamenteuses (8).

En matière anatomique et physiologique, les différences liées au sexe et leurs conséquences en termes de performances physiques ont été peu abordées. Des abaques ont certes été publiés dans les deux sexes, permettant de déterminer une « normalité » en clinique et d'établir des barèmes en compétition sportive (9–12).

Il faut cependant aller plus loin dans la connaissance de ces différences et leurs conséquences en termes de prévention des blessures sportives ou de planification de l'entraînement. Si l'intérêt du monde sportif pour ces différences est ancien, peu de travaux ont été conduits au sein des armées. Dans les pays anglo-saxons, la pression sociétale forte les a conduits à être précurseurs dans la prise en compte de cette question : recueil de données épidémiologiques, études écologiques à grande échelle durant les formations militaires et la carrière des femmes (13–18).

De manière très récente, les premières études sur le suivi médico-physiologique des femmes en situation de combat augmentent (12,19–21).

Depuis les années 70 certains pays (Israël, le Canada, les États-Unis, la Nouvelle-Zélande, Taïwan, la Finlande) ont intégré des femmes dans les unités combattantes. Depuis 1995, Israël, qui possède une conscription obligatoire pour tous, intègre des femmes dans certaines unités de combat terrestre. Depuis 2004, le bataillon israélien Caracal intègre des femmes dans une unité d'infanterie légère. Depuis 2018, tous les postes de combat terrestre sont ouverts aux femmes britanniques. Elles sont toutefois soumises à des standards physiques, indifférenciés par rapport au genre et adaptés aux

sollicitations requises par les différentes tâches du combat. Malgré tout, les femmes représentent seulement 35 % des forces armées israéliennes et 10,8 % des forces armées conventionnelles britanniques.

La France n'a désormais plus aucune restriction d'emploi liée au sexe et un taux de féminisation croissant. En 2023, les armées présentaient un taux de féminisation de 17 %, mais recouvrant une grande disparité : 62,6 % pour le Service de santé des armées, 23,6 % pour l'armée de l'Air et de l'Espace, 19,6 % pour la Gendarmerie nationale, 11,6 % pour l'armée de Terre (22). En 2019, seuls 4 % des effectifs féminins servaient dans des unités opérationnelles, 40 % dans les filières de gestion et 70 % dans le corps des militaires infirmiers et techniciens des hôpitaux des armées (23). Parmi les effectifs déployés en opération extérieure, 8 % des effectifs étaient alors des femmes.

La féminisation de nos armées est tout à la fois un phénomène de société, une volonté politique et une nécessité de recrutement. Néanmoins, certaines spécialités restent peu féminisées et une des explications repose sur des différences biologiques liées au sexes. Celles-ci doivent être mieux comprises pour proposer des contre-mesures adaptées.

2 Les différences anthropométriques et physiologiques expliquent les différences de performances physiques et d'employabilité dans certaines tâches

Les facteurs anthropométriques et physiologiques différencient les femmes des hommes (9–12,24–26). Ces facteurs agissent défavorablement dans la plupart des aspects de la performance physique au combat. Les femmes sont en moyenne plus petites et moins lourdes. Elles ont une masse musculaire plus faible et une masse grasse supérieure (+10 %). De plus, la répartition entre masse musculaire et masse grasse entre le haut et le bas du corps diffère entre les sexes. Ainsi, au niveau des membres supérieurs, la diminution de masse musculaire varie de -33 à -50 % de celle des hommes, contre -20 à -25 % au niveau des membres inférieurs. Ceci explique en grande partie les différences de forces entre les deux sexes.
La masse cardiaque et le volume d'éjection systolique sont plus faibles et expliquent des niveaux de fréquence cardiaque supérieure pour une même vitesse de course.
La capacité vitale pulmonaire moyenne est inférieure de 25 % chez les femmes.
La capacité de transport de l'oxygène est inférieure d'environ 10 % chez les femmes avec souvent des réserves en fer limitées. L'ensemble de ces variables sont des déterminants centraux de la performance aérobie.
Ces différences anthropométriques et physiologiques ont donc un impact sur les aptitudes physiques. Elles expliquent en grande partie les différences de performances entre hommes et femmes, et ce même si les différences de niveau de pratique sportive et de natures d'activités pratiquées peuvent venir renforcer ces différences fondamentales liées au sexe.

2.1 Retentissement sur la capacité aérobie

Les capacités d'endurance cardiovasculaire reflètent la capacité aérobie. Le niveau d'aptitude aérobie est plus faible chez la femme, avec une consommation maximale d'oxygène en valeur absolue[2] de l'ordre de 20 à 30 % inférieure à celle d'un homme (27,28).

[2]Litres d'oxygène/min

Si ces valeurs sont exprimées par rapport à la masse corporelle[3], cette différence n'est alors plus que de 10 à 15 %.
Ceci montre que, pour les activités de longue durée, où il s'agit de déplacer son seul poids de corps, les différences entre hommes et femmes restent modérées. De plus ces différences intersexes tendent à diminuer dans des populations d'hommes et de femmes très entraînées.

2.2 Retentissement sur la force et la puissance musculaire

Les différences de composition corporelle, de répartition entre muscle et réserve adipeuse ont des conséquences directes sur le développement de la force et de la puissance musculaire. En effet, la force d'un muscle est en grande partie déterminée par sa masse et son volume, évalués à partir de sa surface de section.
Ainsi, la force mesurée au niveau du haut du corps chez la femme est de l'ordre de 40 à 60 % de celle mesurée chez l'homme (29,26). Alors qu'au niveau des membres inférieurs, elle est en moyenne chez la femme de 70 à 80 % de celle mesurée chez l'homme (30). Le rapport poids corporel/puissance est défavorable chez la femme par rapport à un homme. Cela explique qu'en moyenne dans une population féminine, le nombre de tractions réalisées n'atteint pas 1 ($0{,}9 \pm 2{,}1$) contre plus de 7 ($7{,}6 \pm 4{,}1$) pour les hommes (28).

2.3 Retentissement sur l'endurance de force

La capacité à maintenir un niveau de force ou de puissance sur des contractions répétées de faible intensité est un autre élément à prendre en compte. Aux membres supérieurs, les différences d'endurance de force entre hommes et femmes sont moindres que les différences de force maximale. À niveau de force absolue identique, le temps de maintien chez les femmes est de l'ordre de 50 à 60 % de celui mesuré chez les hommes ; essentiellement lié au fait que le niveau de force relatif sollicité chez les femmes est plus élevé. En revanche, sur des exercices de gainage représentant l'endurance de force des muscles profonds axiaux, les performances sont relativement comparables entre hommes et femmes.

2.4 La variabilité interindividuelle : les niveaux physiques des hommes et des femmes se recoupent en partie

Ces grandeurs énoncées ci-avant correspondent à des moyennes dans des populations d'hommes et de femmes, mais les écarts interindividuels sont eux-mêmes importants à l'intérieur de ces deux groupes (13,28). Pour raisonner en termes de recrutement, il semble plus instructif de représenter la dispersion des performances de ces deux populations, sous la forme d'une courbe de Gauss. Il faut prendre en compte aussi la surface de chevauchement entre les niveaux de performance des deux groupes, pour les différentes aptitudes physiques. Même si en moyenne les femmes sont moins fortes que les hommes, les femmes ayant le plus de force, sont plus fortes que les hommes les plus faibles.
Pour une épreuve de tirage sollicitant les membres supérieurs, la zone de recouvrement n'est que de 31,8 %. Cela signifie qu'un tiers des femmes sont plus fortes que les hommes les plus faibles. De plus, le gain escompté dans ces capacités physiques par

[3] mL d'oxygène/kg/min

un entraînement bien conduit, peut être modélisé par la translation de ces courbes et ainsi permettre d'envisager les possibilités des femmes à accomplir certaines tâches. Après un entraînement et une progression moyenne de presque 25 % de la performance en force des femmes, la surface de chevauchement avec celle des hommes atteint 42 %. Néanmoins, seules les femmes au-delà du 90e percentile sont capables d'atteindre la performance moyenne d'hommes non entraînés (figure 1).



FIG. 1 : Représentation gaussienne de la performance en tirage (force isométrique développée à 38 cm du sol) chez les hommes et les femmes avant entraînement (A) et après entraînement des femmes (B) - Avec l'aimable accord des auteurs, Tara.J Reilly et Marilyn A Sharp (28)

Pour la consommation maximale en oxygène, même sans entraînement, 20 % des femmes situées dans le haut de la courbe de Gauss ont des performances supérieures ou égales à la performance moyenne des hommes (figure 2). L'entraînement des femmes permet encore de réduire la différence moyenne de VO_{2max} avec les hommes non entraînés.

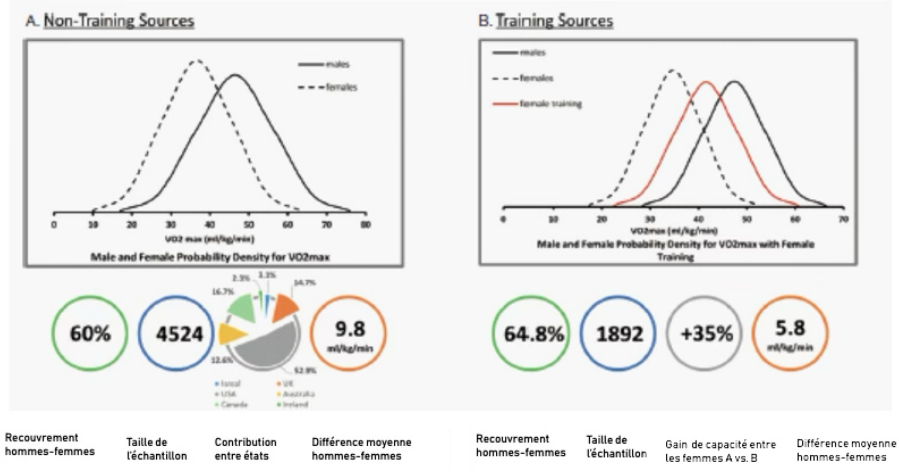


FIG. 2 : Représentation gaussienne de l'aptitude aérobie maximale (consommation d'oxygène maximale, VO_{2max} en ml/kg/min) chez les hommes et les femmes avant entraînement (A) et après entraînement des femmes (B) - Avec l'aimable accord des auteurs, Tara.J Reilly et Marilyn A Sharp (28)

2.5 Conséquences de ces différences physiologiques sur l'employabilité des femmes selon les spécialités

2.5.1 Problématique des armes de mêlée : manutention de charge et locomotion en charge

Les plus faibles aptitudes physiques en force et, dans une moindre mesure la plus faible aptitude aérobie, mettent les femmes en situation défavorable pour réaliser les tâches militaires suivantes : lever ou transporter des charges lourdes, marcher en charge sur de longues distances. Or, toutes les armées occidentales sont confrontées à la contrainte du port de charges, aggravée par le poids des équipements de protection balistique. La charge portée n'est dans ces conditions pas proportionnelle à la masse des individus, mais bien liée à celle des équipements transportés.
Les femmes se fatiguent plus vite que les hommes car elles travaillent à un pourcentage supérieur de leurs capacités maximales pour réaliser les mêmes niveaux de performance. Elles sont ainsi prédisposées à un risque plus important de blessures musculo-squelettiques lors de ces activités comme nous le détaillerons ci-après.

De plus, même si l'aptitude aérobie reste un déterminant essentiel de la performance lors des marches en charge, plus la charge portée est importante (au-delà de 50 % du poids corporel), plus les femmes avec un poids corporel et une masse maigre élevés sont performantes. Si le bénéfice de la prise en compte de ces éléments en terme de réduction des blessures musculo-squelettiques n'a pas encore été clairement objectivé, la performance dans l'orientation à l'emploi est d'ores et déjà bien établie.

Ainsi, en Grande Bretagne, pour intégrer des unités de combat terrestre débarqué ou *ground close combat* en anglais, le niveau physique le plus élevé est requis pour trois tâches considérées comme critiques. Ont été identifiés, le soulèvement à 1,45 m d'une caisse de 40 kg, la manutention de charges avec le transport de deux jerricans de 20 kg sur une distance de 150 m, et la marche avec charges de huit miles à 25 kg.
Une analyse conduite dans l'armée de Terre britannique a montré que moins de 5 % des candidates étaient capables de répondre au niveau d'exigence physique requis (20). La tâche limitante dans la plupart des cas était le soulèvement d'une charge de 40 kg à hauteur de plateforme de camion de 1,45 m. La sollicitation presque exclusive de la force développée aux membres supérieurs dans ces tâches apparaît alors clairement comme limitante pour la féminisation de ces métiers (figure 3).

Aussi, dans toutes les tâches où il faut lever ou transporter des charges lourdes, donc dans tous les métiers des armes de mêlée, les limitations physiologiques et leurs conséquences sur les performances physiques ont un retentissement sur l'aptitude des femmes à occuper ces emplois. Ce constat nécessite d'envisager une préparation physique spécifique et distincte pour les candidates afin d'atteindre les standards de ces métiers les plus exigeants.

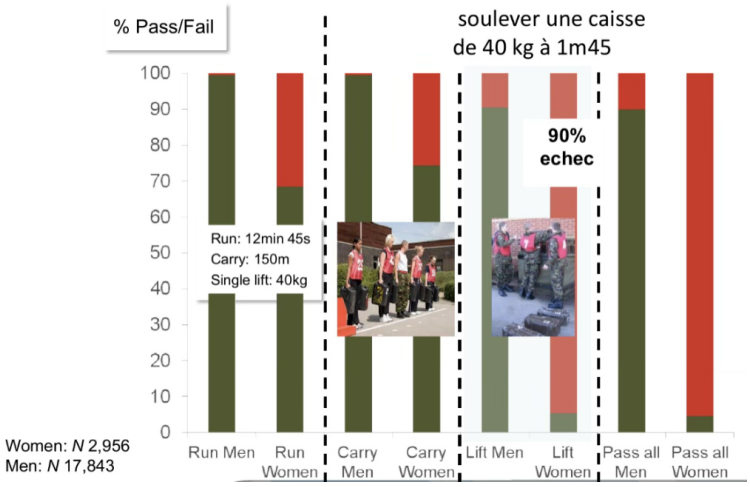


FIG. 3 : Représentation des taux de réussite et d'échec chez les hommes et les femmes lors des tests physiques de sélection pour les armées de combat au sol de l'armée de Terre britannique, en fonction de la nature de la tâche. De gauche à droite : une course de 1,5 miles, le transport de jerricans, le soulèvement d'une caisse (23)

2.5.2 Différences dans les adaptations aux contraintes environnementales et conséquences pour les spécificités milieu et les projections

D'autres différences physiologiques existent entre hommes et femmes et peuvent impacter la tolérance aux environnements climatiques en opération. Les femmes auraient une tolérance moindre à la chaleur, liée à un plus faible débit sudoral. Celui-ci pourrait limiter les possibilités de pertes thermiques par évaporation et donc accroître le stockage thermique dans un climat chaud sec (31). A contrario, leur rapport surface/poids corporel plus élevé et leur meilleure fonction endothéliale pourraient conférer un avantage en climat chaud humide où la vasodilatation cutanée garde une part d'efficacité de thermolyse. L'incidence des affections liées à la chaleur, et tout particulièrement du coup de chaleur d'exercice, n'est pas plus élevée chez la femme que chez l'homme, voire même plus faible (32). Ce résultat pourrait être lié à une meilleure gestion du risque chez les femmes. En effet, la thermorégulation fait appel à des capacités de thermolyse, mais aussi à une régulation comportementale, visant en permanence à adapter l'intensité de l'activité aux signaux corporels perçus. Or, cette intéroception moins performante semble impliquée dans les coups de chaleur d'exercice en population militaire (33) et pourrait être plus performante chez les femmes.

Dans le domaine thermique encore, si une plus grande masse grasse est un élément favorable à la tolérance aux expositions au froid, il est contrebalancé par deux éléments. D'une part, la surface corporelle plus élevée par rapport au poids corporel favorise les pertes de chaleur chez les femmes. D'autre part, il existe une plus grande incidence du phénomène de Raynaud, en particulier à certains moments du cycle menstruel. Les femmes présentent ainsi un risque de gelures des extrémités plus important lorsqu'elles sont accidentellement exposées au froid. La prévention de ce risque pourrait bénéficier des améliorations technologiques des vêtements et des nouveaux textiles.

Concernant les milieux d'emploi, malgré les différences physiologiques importantes entre hommes et femmes, il n'existe aucune différence dans les capacités de tolérance aux contraintes aéronautiques et subaquatiques (16). C'est pourquoi la Marine nationale utilise des barèmes différenciés entre hommes et femmes pour les épreuves physiques évaluées au sol. Mais ces différences n'existent plus dès lors qu'il s'agit de tester les aptitudes subaquatiques : ces épreuves sont réussies ou échouées selon des critères non genrés.

3 Les femmes présentent un risque de blessures musculo-squelettiques différent

3.1 Avec un risque accru de blessures

L'analyse de la littérature montre de façon systématique une incidence des blessures plus importante chez les jeunes recrues féminines par rapport à leurs camarades masculins, en particulier au cours de la formation initiale. Pendant la carrière professionnelle, cette différence persiste, que ce soit au cours de l'entraînement régulier ou lors des déploiements actifs (18,34–38).

3.2 Et plus spécifiquement une atteinte de la santé osseuse

Des différences existent également dans le type de blessures observé, les femmes étant encore plus sujettes aux blessures des membres inférieurs que les hommes (14). Chez les hommes, comme chez les femmes, la majorité des blessures recensées en formation initiale sont des microtraumatismes répétés liés à la sursollicitation ; les macrotraumatismes représentant seulement un tiers des cas de blessures. Cependant, cette répartition est encore plus marquée chez les femmes. On observe trois fois plus de fractures de fatigue chez les femmes et même dix fois plus de fractures de fatigue du bassin en formation dans l'infanterie que chez leurs camarades masculins (39). C'est une blessure grave et quasiment jamais observée chez les hommes. La structure même des os longs chez la femme pourrait en partie expliquer le plus grand nombre de fractures de fatigue, ainsi que les différences hormonales et nutritionnelles (34,40,41). Le *ratio* entre épaisseur de corticale et longueur diaphysaire rend moindre la résistance osseuse aux contraintes axiales induites par les forces de réaction au sol lors du déplacement. Cet élément est associé à une charge portée non proportionnelle au poids de l'individu, et à une stature plus petite imposant un allongement de la foulée à chaque pas. La contrainte mécanique relative est alors bien plus importante chez les femmes lors de toutes les activités de locomotion avec charge (42). C'est la notion d'ostéopénie relative qui sera illustrée dans le cas clinique proposé par le Dr Bialé dans ce numéro (43).

3.3 Mais des facteurs de risque sont modifiables

Outre la gestion de l'entraînement par lui-même que nous aborderons en dernière partie, d'autres facteurs de risque sont modifiables.

Ainsi, des données épidémiologiques robustes convergent pour identifier les facteurs de risque majeurs dans la survenue de blessures musculo-squelettiques au cours de la formation militaire : le niveau de performance physique initial, en particulier le niveau d'aptitude aérobie, et dans une moindre mesure la force initiale (44).

En moyenne, le risque relatif lié au sexe est deux fois plus important comparativement aux hommes (36). Néanmoins, lorsque l'on ajuste ce risque en prenant en compte l'aptitude aérobie, les différences hommes-femmes dans l'incidence de ces blessures se réduisent largement sans pour autant disparaître totalement. Cette donnée témoigne de l'importance de l'aptitude aérobie plutôt que du sexe *per se* (45,46). Ceci plaide en faveur d'un niveau minimal d'aptitude aérobie nécessaire avant de débuter la formation militaire initiale et pouvant justifier d'une mise à niveau préalable.
Cette proposition a été testée avec succès dans l'armée de Terre américaine avec, non seulement une réduction des blessures, mais aussi une moindre attrition et un meilleur rendement de la formation initiale (47).

3.4 Les blessures responsables d'une attrition chez les femmes en formation

Le taux d'attrition des femmes n'est pas forcément proportionnel à ce risque accru de blessure. Le taux d'attrition sur les trois années de service dans le bataillon israélien Caracal est de 28 % chez les femmes contre 36 % chez les hommes. Il existe même un taux significativement moindre sur les attritions pour motif psychologique (6 % chez les femmes vs 18,8 % chez les hommes) (48). Or, si l'on compare le niveau physique en fin de formation militaire, une femme sur deux comme un homme sur deux, atteignent le niveau minimal requis pour servir dans une unité d'infanterie légère. Ceci doit être tempéré par le fait que seules les femmes les plus capables postulent pour servir dans ce bataillon, ce qui n'est pas le cas chez les hommes. Ainsi, il semble que dans des unités encore plus sélectives telles que les *Marines* américains, les femmes présentent un taux d'attrition global (période de formation initiale et première année de service) 1,6 fois plus élevé que les hommes (49).
Il apparaît donc clairement que les tâches militaires requérant un haut niveau d'aptitude physique, tout particulièrement la manutention de charges lourdes ou encore la locomotion avec charge, sont les seules activités militaires qui risquent objectivement de mettre en difficulté les femmes par rapport aux effectifs masculins. Ce constat doit faire l'objet d'une prise en compte spécifique et structurée, dans laquelle la sélection joue un rôle primordial, tout comme la mise en œuvre de protocoles d'entraînement physique adaptés. En effet, un entraînement physique spécifique, régulier et progressif est susceptible de faire évoluer favorablement les performances physiques des femmes et de réduire les différences observées avec les hommes, sans pour autant toujours les annuler (50). Ces conséquences appellent des propositions pour améliorer l'intégration des femmes dans des postes à aptitude physique élevée et rendues nécessaires pour faire face à la menace du combat de haute intensité.

4 Propositions pour préparer la haute intensité

Sans adopter le modèle israélien qui, pour des raisons religieuses préfère des escadrons unisexes, l'armée britannique a décliné un modèle d'intégration des femmes dans des unités mixtes de combat terrestre afin de garantir une cohésion optimale dès la période de formation initiale (51). Ce modèle est basé sur deux grands principes :

1. un profilage physique dès le recrutement, permettant ensuite une orientation en adéquation avec un poste ;
2. la mise en œuvre de programmes d'entraînement spécialement conçus pour combler les qualités physiques faisant défaut aux femmes et permettant de limiter le taux d'attrition tout en garantissant une progression optimale.

4.1 Une approche par l'aptitude physique à l'emploi

En 2014, en Grande-Bretagne, un programme de recherche interdisciplinaire d'envergure a été développé sur cinq ans pour définir des normes physiques minimales, directement en lien avec les types d'unités combattantes mais indépendantes du sexe et de l'âge : *gender-neutral Role Fitness Tests for Soldiers* (28,30,52). Cette démarche a abouti à une refonte complète des tests physiques permettant de mieux évaluer la capacité physique à tenir un emploi.

Après 2019, l'armée de Terre américaine a adopté un test (*The Army Combat Fitness Test)* basé sur l'évaluation de six composantes pour caractériser l'ensemble des qualités physiques nécessaires à un soldat. Si le travail a été initié dans l'armée de Terre française avec la refonte du contrôle de la condition physique spécifique (CCPS), l'objectif de la catégorisation de l'aptitude physique par emploi n'a pas encore été posé en ces termes.

Le principe fondamental de ce profil d'aptitude physique à l'emploi repose sur la prise en compte des qualités physiques nécessaires pour réaliser des tâches considérées comme élémentaires et/ou indispensables, dont la nature, la fréquence et l'intensité varient avec le poste de combat occupé (figure 4). Il consiste dans un premier temps à définir précisément ces tâches identifiées comme pertinentes et les standards d'aptitude physique requis en regard. Il s'agit ensuite de vérifier, par des tests physiques représentatifs et réalisables en masse que le niveau minimal sera obtenu par tous les personnels assignés à cet emploi, et ce quels que soient le sexe et l'âge.

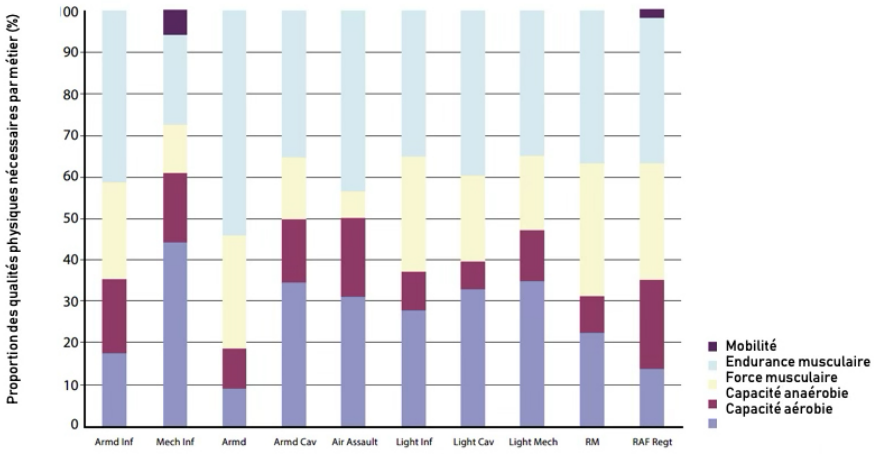


FIG. 4 : Aptitudes physiques requises en fonction des types d'unités impliquées dans le combat terrestre (23). *Armoured regiment* (Armd) correspond en France aux régiments blindés lourds et les aptitudes physiques requises nécessitent peu de capacité aérobie et anaérobie, mais une endurance et une force musculaire importantes liées aux contraintes de la conduite, la manutention des obus et la maintenance des véhicules chenillés. *Mechanised infantry* (Mech Inf) correspond en France aux régiments d'infanterie sur VBCI, dont le personnel réalise à la fois des tâches de fantassin porté et débarqué. Ces tâches nécessitent donc une grande capacité aérobie associée à des composantes équivalentes en endurance et en force musculaire, associées à une contrainte en mobilité pour le combat débarqué.

Les leçons tirées du développement de ces « *Physical Employments Standards* » dans l'armée britannique au nom de l'équité entre genre, prennent une application nouvelle à l'aune des conflits de haute intensité. Cette approche opérative doit être distinguée des barèmes du contrôle de la condition physique générale, appliqués pour les notations annuelles des militaires. Il s'agit alors d'évaluer certaines qualités physiques spécifiques et ciblées, et de les comparer à une grille de performance prenant en compte les différences physiologiques liés au sexe et à l'âge (28,30,52). Pour ce qui relève de l'aptitude à accomplir certaines tâches pour tenir un poste précis, seule la notion de « réussite » ou d'« échec » est à retenir autrement dit un seuil minimal, valable, quels que soient le sexe et l'âge.

Cette approche n'a pas pour but de permettre l'accès de toutes les femmes à tous les postes, mais de définir objectivement les qualités physiques requises. Il est probable qu'un nombre limité de femmes puissent atteindre les standards requis pour tenir les emplois les plus sollicitant physiquement. Mais se doter d'outils capables de mieux identifier les profils adaptés bénéficiera à toute l'armée, hommes et femmes confondus.

Ainsi, la notion de « *person-job fit* » des Anglo-saxons est un concept dont l'implémentation permettrait à tous les personnels d'améliorer l'efficacité dans l'emploi et de mieux durer dans la carrière, même à des postes à forte sollicitation physique.

4.2 Une proposition d'entraînement dédié

La littérature démontre que des programmes d'entraînement basés sur les grands principes scientifiques de la préparation physique (spécificité et individualisation) sont capables d'améliorer la réussite dans des tâches clés, notamment celles limitées chez les femmes comme le soulèvement et la manutention de charge (53,54). L'armée britannique a efficacement mis en place un programme adapté à ces limitations en montrant que toutes les candidates étaient capables d'atteindre le même niveau que celui des hommes non entraînés. A l'issue de six mois d'entraînement bien conduit, les femmes sont capables d'atteindre le niveau initial des hommes pour parcourir deux miles chargées de 35 kg alors qu'initialement, il leur fallait en moyenne un quart de temps de plus que les hommes pour cette épreuve. Plus schématiquement, ils ont obtenu une triplement du nombre de femmes capables de répondre aux standards les plus exigeants requis dans l'infanterie (12,20).

Même si les principes d'entraînement restent identiques dans les deux populations, le niveau de base dans les aptitudes physiques en force des membres supérieurs étant très différent, la séparation des groupes pour ces séances est recommandée (20).
L'amélioration des performances dans ces tâches est obtenue avec trois à quatre sessions hebdomadaires, soit le nombre de sessions déjà organisées dans les unités de combat au sol. Néanmoins, le contenu de ces séances doit être orienté plus spécifiquement et de façon plus intensive vers le développement des qualités faisant défaut. Le seul travail de renforcement musculaire à poids de corps ne sera pas suffisant pour les femmes et le travail avec charge additionnelle lourde est indispensable.

De plus, les adaptations se poursuivent chez les femmes au-delà de six mois, témoignant de la nécessité d'une préparation plus longue pour atteindre leur plein potentiel opérationnel et le plateau de gain lié à l'entrainement. Si ces parcours dédiés restent encore largement à élaborer avec le Centre national des sports de la défense et l'armée

de Terre, il est probable qu'ils doivent être mis en place dès la formation initiale et s'étendre tout au long de la première année en unité, tout au moins pour les postes les plus exigeants. En Norvège, les femmes bénéficient d'un parcours personnalisé de 18 mois, mais sans être séparées complètement de leurs collègues masculins.
Par exemple, au lieu de deux séances hebdomadaires de renforcement musculaire du haut du corps, elles en font quatre. Néanmoins, compte tenu de la sollicitation physique déjà élevée en formation militaire initiale, l'ajout de programmes spécifiques dédiés au développement de la force doit s'accompagner d'un monitorage et d'une gestion globale de la charge de travail.

4.3 Une proposition de progressivité et de gestion de la charge d'entraînement pour les femmes

Depuis 2006 en Grande-Bretagne, lors du recrutement initial, hommes et femmes s'entraînent séparément avec un gain de performance identique et moins de blessures occasionnées. La gestion de l'entraînement par groupe de niveau similaire est la première mesure pour garantir une charge de travail relative comparable entre des individus aux niveaux initiaux d'aptitude physique très différents. Au-delà du sexe, la classification basée sur le niveau d'aptitude aérobie semble pertinente, d'autant plus que cette aptitude aérobie impacte le risque de survenue de blessure en formation.

Quel que soit le pays d'origine, l'intervention la plus efficace pour réduire le risque de fracture de fatigue survenant en formation consiste à réduire la distance parcourue à pied sur les quatre premières semaines et à adapter la cadence de marche sur la taille des plus petits en les plaçant en tête de section (55–58). Par la suite, la réduction du nombre de sorties de course de longue distance et l'intégration de séances d'entraînement en fractionné de haute intensité (*High Intensity Interval Training – HIIT*) permettent de limiter ce risque de blessures musculo-squelettiques des membres inférieurs par sursollicitation, tout en garantissant un maintien du niveau d'aptitude aérobie. Outre la diminution des contraintes mécaniques, le temps dégagé par des séances moins longues peut être dédié à des séances d'entraînement en force particulièrement nécessaires pour les femmes. Cette progressivité peut donc s'associer au principe de spécificité de l'entraînement des femmes.

L'implémentation d'autres stratégies (renforcement musculaire profond, souplesse, équilibre) utilisées dans des populations sportives n'a pour l'instant pas prouvé son efficacité en milieu militaire (59). La gestion de la charge de travail globale et de la distance totale parcourue restent alors les seuls moyens de prévention efficace sur le terrain.

La formation initiale, comme la reprise des activités physiques en *post partum,* sont des périodes à risque particulier pour les femmes. Il a été constaté une recrudescence des blessures musculo-squelettiques dans les six mois à un an suivant le retour après maternité (12,20). La progressivité de la reprise des activités semble donc nécessaire. Un programme de réathlétisation dédié au *post-partum*, prescrit par les médecins et mis en œuvre par les moniteurs EPMS, est suggéré dans l'article de Pilaud et Guillemin de ce numéro spécial (60).

Au total, l'EPMS traditionnel conduit à l'heure actuelle en masse et avec peu d'individualisation ne semble pas adapté pour préparer les femmes aux exigences physiques du combat de haute intensité.

4.4 Voies d'optimisation de l'EPMS et de prévention des affections liées à l'EPMS

En plus des règles de mise en œuvre de l'EPMS (spécificité, individualisation, progressivité) (4), l'optimisation de l'entraînement par des contre-mesures spécifiques semble particulièrement importante pour la santé des femmes.

4.4.1 Limiter le déficit énergétique

Une étude menée en 2020 dans les camps d'entraînement initiaux de l'*US Navy* retrouve un déficit énergétique global chez toutes les recrues (58 % de femmes), mais significativement supérieur chez les femmes (-24 %) par rapport aux hommes (-13 %) (61). Les experts chiffrent le seuil de déficit énergétique acceptable pour la santé à moins de 20 % (62). La période de formation initiale comme le combat de haute intensité s'accompagnent de situations à dépense énergétique élevée, parfois associées à des difficultés logistiques d'approvisionnement, qui contribuent au déficit énergétique. Le maintien d'une balance énergétique équilibrée est important pour la performance de tous, mais particulièrement pour ne pas obérer le capital santé des combattantes.

4.4.2 Proposer une collation protéinée

Malgré le déficit énergétique majeur constaté chez les femmes, celui-ci se traduit essentiellement par une perte de masse grasse (-6 %) avec même une prise de masse musculaire de 0,5 kg (sans modification chez les hommes). Ceci pourrait très probablement être optimisé en limitant le déficit énergétique et en associant une collation protéinée après les séances de renforcement musculaire.

4.4.3 Supplémenter en vitamine D et prévenir les fractures de fatigue

En termes de santé osseuse, une étude menée à San Diego (USA), a montré que 50 % des femmes présentent une concentration insuffisante ou un déficit en vitamine D, contre 37 % chez les hommes. Elles ont également une concentration plasmatique moyenne inférieure à celle des hommes. Malgré l'augmentation de la concentration après les dix semaines d'entraînement en raison de l'ensoleillement, ce n'était pas suffisant pour corriger le déficit (figure 5).

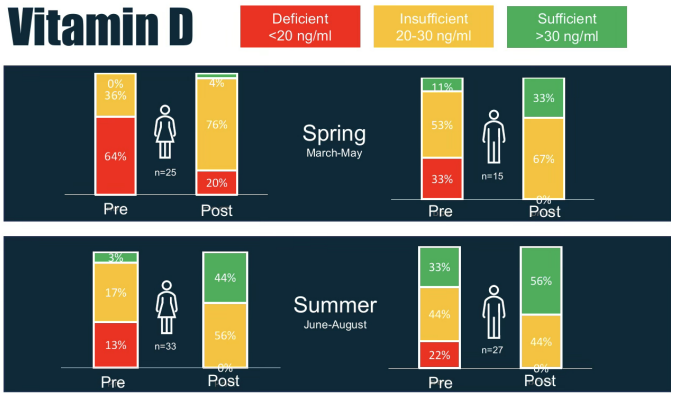


Fig. 5 : Évolution des concentrations de vitamine D au cours du camp d'entraînement en formation initiale du corps des *Marines* en fonction de la saison et du sexe.
Données non publiées et avec l'aimable accord de la Dr Karen R Kelly du *Naval Health Research Center*

L'étude retrouvait que 45 % des femmes présentaient une blessure au cours de la formation *Marines*, avec dans 15 % des cas une fracture de fatigue. Aucun homme n'a présenté ce type de blessure. Toutes les femmes ayant une fracture de fatigue avaient un taux de vitamine déficitaire ou insuffisant. Le risque de fracture de fatigue est multiplié par plus de quatre chez les femmes ayant un taux de vitamine D insuffisant en début de stage (2,63,64). Une précédente étude de l'*US Navy* avait montré que la consommation de barres enrichies en vitamine D et calcium permettait de réduire de 20 % le nombre de fractures de fatigue chez les femmes (64).

4.4.4 Autres contre-mesures possibles pour assurer un entraînement optimal

Indépendamment du sexe, une étude britannique montre que le risque d'infection respiratoire haute est multiplié par quatre pour les recrues dormant moins de six heures (65). L'ajustement entre charge de travail et temps de sommeil, notamment en formation militaire initiale, est un axe de réflexion pour limiter l'attrition.
Les différences physiologiques avérées ne doivent pas faire oublier le rôle délétère des équipements mal adaptés à une morphologie différente entre hommes et femmes.
Cette inadaptation entraîne au minimum un inconfort et peut augmenter la difficulté perçue et réelle d'une tâche à réaliser, voire accroître le risque de blessures. Un meilleur ajustement des gilets balistiques, comme des sacs à dos (réglage de la ceinture de hanche et de la largeur des bretelles) sont des facteurs qui peuvent contribuer à limiter les différences de performances sur certaines tâches spécifiques du combat terrestre débarqué.

Conclusion

L'intégration des femmes est non seulement légitime au titre de l'égalité entre les sexes, elle est également devenue indispensable dans la perspective du combat de haute intensité, où toutes les volontés seront nécessaires. Pour réussir ce challenge, une démarche en trois temps est nécessaire.
Il faut d'abord sélectionner les femmes les plus aptes au regard de l'emploi ciblé avec des tests physiques adaptés et pertinents. En effet il existe bien des différences de

niveau d'aptitude physique liées au sexe. Un nombre limité de femmes pourra arriver aux standards requis pour certaines tâches indispensables dans les unités les plus exigeantes.
Ensuite, l'armée doit mettre en place un entraînement adapté durant toute la période de formation militaire, et l'entretenir tout au long de la carrière, en ciblant les aptitudes physiques limitantes et spontanément déficitaires en population féminine.
Enfin, connaître les risques spécifiques pour la santé des femmes permettra la mise en place de contre-mesures adaptées. Ces mesures peuvent associer des facteurs organisationnels, nutritionnels et une gestion adaptée de la charge de l'entraînement, plus particulièrement dans les périodes cruciales de formation initiale et du post-partum.
Garantir l'efficacité opérationnelle, la durabilité et préserver la santé des femmes sont des objectifs largement conciliables. Nous avons ainsi présenté des arguments pour renforcer le positionnement du médecin militaire comme garant de la capacité opérationnelle des armées à court et long terme, dans l'intérêt de l'Institution et de ses besoins accrus de recrutement en vue des grands enjeux d'une hypothèse d'engagement majeur dans un combat de haute intensité.

Remerciements au linguiste relecteur : Édouard Lizé.

Références bibliographiques

1. Wardle SL, Greeves JP. Mitigating the risk of musculoskeletal injury : a systematic review of the most effective injury prevention strategies for military personnel. Journal of Science and Medicine in Sport. 2017 ;20(S4) : S3-S10. doi : 10.1016/j.jsams.2017.09.014

2. Wardle SL, O'Leary TJ, McClung JP, Pasiakos SM, Greeves JP. Feeding female soldiers : consideration of sex-specific nutrition recommendations to optimise the health and performance of military personnel. Journal of Science and Medicine in Sport. 2021 ; 24(10) :995-1001. doi : 10.1016/j.jsams.2021.08.011

3. Sammito S, Hadzic V, Karakolis T, Kelly KR, Proctor SP, Stepens A, et al. Risk factors for musculoskeletal injuries in the military : a qualitative systematic review of the literature from the past two decades and a new prioritizing injury model. Military Medical Research. 2021 ; 8(1) :66. doi : 10.1186/s40779-021-00357-w

4. État-Major des Armées. Instruction n° 40908/DEF/EMA/PERF/BORG – n° 40908/DEF/DCSSA/PC/MA – n° 40908/GEND/DPMGN/SDC/BFORM relative à la surveillance médico-physiologique de l'entraînement physique militaire et sportif. Paris (FR) : Bulletin officiel des armées ; 2016.

5. O'Leary TJ, Wardle SL, Greeves JP. Energy deficiency in soldiers : the risk of the Athlete Triad and Relative Energy Deficiency in Sport syndromes in the military. Frontiers in Nutrition. 2020 ;7 :142. doi : 10.3389/fnut.2020.00142

6. O'Leary TJ, Jackson S, Izard RM, Walsh NP, Coombs CV, Carswell AT, et al. Sex differences in iron status during military training : a prospective cohort study of longitudinal changes and associations with endurance performance and musculoskeletal outcomes. British Journal of Nutrition. 2024 ;131(4) :581-92. doi : 10.1017/S0007114523001812

7. Junien C, Priollaud N. C'est votre sexe qui fait la différence. Paris (FR) : Plon ; 2023.

8. Institut national de la santé et de la recherche médicale. Sexe et genre : mieux soigner les femmes et les hommes. Paris (FR) : Inserm ; 2017 [cité le 26 mars 2025]. Disponible : https://www.ipubli.inserm.fr/handle/10608/10076

9. Åstrand PO, Rodahl K. Précis de physiologie de l'exercice musculaire. Issy-les-Moulineaux (FR) : Elsevier Masson ; 1980.

10. Gordon CC, Churchill T, Clauser CE, Bradtmiller B, McConville J. Anthropometric survey of U.S. Army personnel : methods and summary statistics 1988 [En ligne]. Natick (MA) : U.S. Army Natick Research ; 1989 [cité le 26 mars 2025]. Disponible : https://www.semanticscholar.org/paper/Anthropometric-Survey-of-U.S.-Army-Personnel\%3A-and-Gordon-Churchill/06a93e6f6a9fcb715ebfb1a4b9b809c4eef53d46

11. Malina R, Bouchard C, Bar-Or O. Growth, maturation, and physical activity. Champaign (IL) : Human Kinetics ; 2004.

12. Ministry of Defence. Women in ground close combat (GCC) review paper [En ligne]. Londres (UK) : GOV.UK ; 2014 [cité le 26 mars 2025]. Disponible : https://www.gov.uk/government/publications/women-in-ground-close-combat-gcc-review-paper

13. Sharp MA. Physical fitness and occupational performance of women in the U.S. Army. Work. 1994 ;4(2) :80-92.

14. Almeida SA, Williams KM, Shaffer RA, Brodine SK. Epidemiological patterns of musculoskeletal injuries and physical training. Medicine & Science in Sports & Exercise. 1999 ;31(8) :1176-82. doi : 10.1097/00005768-199908000-00015

15. Darakjy S, Hauret KG, Canada S, Knapik JJ, Hoedebecke EL, Wells J, et al. Injuries and injury risk factors among armor battalion soldiers at Fort Riley, Kansas. Medicine & Science in Sports & Exercise. 2003 ;35(5) :S278.

16. Friedl KE. Biomedical research on health and performance of military women : accomplishments of the Defense Women's Health Research Program (DWHRP). Journal of Women's Health. 2005 ;14(9) :764-802. doi : 10.1089/jwh.2005.14.764

17. Bell NS, Schwartz CE, Harford T, Hollander IE, Amoroso PJ. The changing profile of disability in the U.S. Army : 1981-2005. Disability and Health Journal. 2008 ;1(1) :14-24. doi : 10.1016/j.dhjo.2007.11.007

18. Blacker SD, Wilkinson DM, Rayson MP. Gender differences in the physical demands of British Army recruit training. Mil Med. 2009 ;174(8) :811-16. doi : 10.7205/milmed-d-01-3708

19. Epstein Y, Yanovich R, Moran DS, Heled Y. Physiological employment standards IV : integration of women in combat units physiological and medical considerations. European Journal of Applied Physiology. 2013 ;113(11) :2673-90. doi : 10.1007/s00421-012-2558-7

20. Ministry of Defence. Interim report on the health risks to women in ground close combat roles [En ligne]. Londres (UK) : Ministry of Defence ; 2016 [cité le 26 mars 2025]. environ 50 p. Disponible : https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/536381/20160706_ADR006101_Report_Women_in_Combat_WEB-FINAL.PDF

21. Conkright WR, O'Leary TJ, Wardle SL, Greeves JP, Beckner ME, Nindl BC. Sex differences in the physical performance, physiological, and psycho-cognitive responses to military operational stress. European Journal of Sport Science. 2022 ;22(1) :99-111. doi : 10.1080/17461391.2021.1916082

22. Secrétariat général pour l'administration. Rapport social unique 2023. Paris (FR) : Direction des ressources humaines du ministère de la Défense ; 2023.

23. Ministère des Armées. Le plan mixité du ministère des Armées. Paris (FR) : Centre de presse DICOD ; 2019.

24. Cerretelli P. Traité de physiologie de l'exercice et du sport. Issy-les-Moulineaux (FR) : Elsevier Masson ; 2002.

25. Yanovich R, Evans R, Israeli E, Constantini N, Sharvit N, Merkel D, et al. Differences in physical fitness of male and female recruits in gender-integrated army basic training. Medicine & Science in Sports & Exercise. 2008 ;40(S11) :S654-S659. doi : 10.1249/MSS.0b013e3181893f30

26. Wilmore JH, Costill DL, Kenney WL. Physiology of sport and exercise. Champaign (IL) : Human Kinetics ; 2008.

27. Vogel JA, Patton JF, Mello RP, Daniels WL. An analysis of aerobic capacity in a large United States population. Journal of Applied Physiology. 1986 ; 60(2) :494-500. doi : 10.1152/jappl.1986.60.2.494

28. Reilly TJ, Sharp MA, Cao M, Canino MC. A database of predictor test sex bias for development of military physical employment standards. Work. 2019 ;63(4) :591-601. doi : 10.3233/WOR-192956

29. Miller AE, MacDougall JD, Tarnopolsky MA, Sale DG. Gender differences in strength and muscle fiber characteristics. European Journal of Applied Physiology. 1993 ;66(3) :254-62. doi : 10.1007/BF00235103

30. Roberts D, Gebhardt DL, Gaskill SE, Roy TC, Sharp MA. Current considerations related to physiological differences between the sexes and physical employment standards. Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism. 2016 ;41(S2) :S108-S120. doi : 10.1139/apnm-2015-0540

31. Nindl BC, Jones BH, Van Arsdale SJ, Kelly K, Kraemer WJ. Operational physical performance and fitness in military women : physiological, musculoskeletal injury, and optimized physical training considerations for successfully integrating women into combat-centric military occupations. Mil Med. 2016 ;181(S1) :50-62. doi : 10.7205/MILMED-D-15-00382

32. Gifford RM, Todisco T, Stacey M, Fujisawa T, Allerhand M, Woods DR, et al. Risk of heat illness in men and women : a systematic review and meta-analysis. Environmental Research. 2019 ;171 :24-35. doi : 10.1016/j.envres.2018.10.020

33. Mellier C. Modèle psycho-cognitif du coup de chaleur d'exercice : description et évaluation préliminaire par une étude cas-témoins dans la population militaire française [En ligne]. Marseille (FR) : Aix-Marseille Université ; 2021 [cité le 26 mars 2025]. environ 100 p. Disponible : https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03403441v1/file/Th\%C3\%A8se\%20finie.pdf

34. Epstein Y, Fleischmann C, Yanovich R, Heled Y. Physiological and medical aspects that put women soldiers at increased risk for overuse injuries. Journal of Strength and Conditioning Research. 2015 ;29(S11) :S107-S110. doi : 10.1519/JSC.0000000000001079

35. Jones BH, Amoroso PJ, Canham ML, Weyandt MB, Schmitt JB. Atlas of injuries in the U.S. Armed Forces : a report by the DOD Injury Surveillance and Prevention Work Group for the Assistant Deputy Under Secretary of Defense for Safety and Occupational Health. Fort Belvoir (VA) : Defense Technical Information Center ; 1999.

36. Bell NS, Mangione TW, Hemenway D, Amoroso PJ, Jones BH. High injury rates among female army trainees : a function of gender ? American Journal of Preventive Medicine. 2000 ;18(S3) :141-6. doi : 10.1016/S0749-3797(99)00173-7

37. Gilchrist J, Jones BH, Sleet DA, Kimsey CD, Centers for Disease Control and Prevention. Exercise-related injuries among women : strategies for prevention from civilian and military studies. MMWR Recommendations and Reports. 2000 ;49(RR-2) :15-33.

38. Jones BH, Knapik JJ. Physical training and exercise-related injuries : surveillance, research and injury prevention in military populations. Sports Medicine. 1999 ;27(2) :111-25. doi : 10.2165/00007256-199927020-00004

39. O'Leary TJ, Wardle SL, Rawcliffe AJ, Chapman S, Mole J, Greeves JP. Understanding the musculoskeletal injury risk of women in combat : the effect of infantry training and sex on musculoskeletal injury incidence during British Army basic training. BMJ Military Health. 2023 ;169(1) :57-61. doi : 10.1136/jramc-2019-001347

40. Yates B, White S. The incidence and risk factors in the development of medial tibial stress syndrome among naval recruits. American Journal of Sports Medicine. 2004 ;32(3) :772-780.

41. Wang H, Kia M, Dickin DC. Influences of load carriage and physical activity history on tibia bone strain. Journal of Sport and Health Science. 2019 ;8(5) :478-485. doi : 10.1016/j.jshs.2016.08.012

42. Orr RM, Pope RR. Load carriage : an integrated risk management approach. Journal of Strength and Conditioning Research. 2015 ;29(S11) :S119-S128. doi : 10.1519/JSC.0000000000001029

43. Bialé L, Urvoas A, Valbousquet L, Giraud L. Fractures de fatigue chez les femmes militaires. Médecine et armées. 2025 ;51(1) :143-150. doi : 10.17184/eac.9209

44. Knapik JJ, Hauret KG, Arnold S, Canham-Chervak M, Mansfield AJ, Hoedebecke EL, et al. Injury and fitness outcomes during implementation of physical readiness training. International Journal of Sports Medicine. 2003 ;24(5) :372-81. doi : 10.1055/s-2003-40710

45. Fallowfield JL, Leiper RG, Shaw AM, Whittamore DR, Lanham-New SA, Allsopp AJ, et al. Risk of injury in Royal Air Force training : does sex really matter ? Mil Med. 2020 ;185(1-2) :170-7. doi : 10.1093/milmed/usy177

46. Blacker SD, Wilkinson DM, Bilzon JLJ, Rayson MP. Risk factors for training injuries among British Army recruits. Mil Med. 2008 ;173(3) :278-286. doi : 10.7205/milmed.173.3.278

47. Bedno SA, Cowan DN, Urban N, Niebuhr DW. Effect of pre-accession physical fitness on training injuries among US Army recruits. Work. 2013 ;44(4) :509-15. doi : 10.3233/WOR-2012-1355

48. Finestone AS, Milgrom C, Yanovich R, Evans R, Constantini N, Moran DS. Evaluation of the performance of females as light infantry soldiers. BioMed Research International. 2014 ;2014 :572953. doi : 10.1155/2014/572953

49. Wolfe J, Turner K, Caulfield M, Newton TL, Melia K, Martin J, et al. Gender and trauma as predictors of military attrition : a study of Marine Corps recruits. Mil Med. 2005 ;170(12) :1037-43. doi : 10.7205/milmed.170.12.1037

50. Nindl BC. Physical training strategies for military women's performance optimization in combat-centric occupations. Journal of Strength and Conditioning Research. 2015 ;29(S11) :S101-S106. doi : 10.1519/JSC.0000000000001089

51. Fieldhouse A, O'Leary TJ. Integrating women into combat roles : comparing the UK Armed Forces and Israeli Defense Forces to understand where lessons can be learnt. BMJ Military Health. 2023 ;169(1) :78-80. doi : 10.1136/bmjmilitary-2020-001500

52. Sterczala AJ, Krajewski KT, Peterson PA, Sekel NM, Lovalekar M, Wardle SL, et al. Twelve weeks of concurrent resistance and interval training improves military occupational task performance in men and women. European Journal of Sport Science. 2023 ;23(12) :2411-24. doi : 10.1080/17461391.2023.2239752

53. Harman E, Frykman P, Palmer C, Lammi E, Reynolds K. Effects of a specifically designed physical conditioning program on the load carriage and lifting performance of female soldiers.1997.

54. Kraemer WJ, Mazzetti SA, Nindl BC, Gotshalk LA, Volek JS, Bush JA, et al. Effect of resistance training on women's strength/power and occupational performances. Medicine & Science in Sports & Exercise. 2001 ;33(6) :1011-25. doi : 10.1097/00005768-200106000-00022

55. Rudzki SJ. Injuries in Australian Army recruits. Part I : decreased incidence and severity of injury seen with reduced running distance. Mil Med. 1997 ;162(7) :472-6.

56. Pope RP. Prevention of pelvic stress fractures in female army recruits. Military Medicine. 1999 ;164(5) : 370-3.

57. Roos L, Boesch M, Sefidan S, Frey F, Mäder U, Annen H, et al. Adapted marching distances and physical training decrease recruits' injuries and attrition. Mil Med. 2015 ;180(3) :329-36. doi : 10.7205/MILMED-D-14-00184

58. Kelly K, Niederberger B, Givens A, Bernards J, Orr R. Profiling injuries sustained following implementation of a progressive load carriage program in United States Marine Corps recruit training. Work. 2024 ;77(4) :1391-9. doi : 10.3233/WOR-230569

59. Bullock SH, Jones BH, Gilchrist J, Marshall SW. Prevention of physical training-related injuries : recommendations for the military and other active populations based on expedited systematic reviews. American Journal of Preventive Medicine. 2010 ;38(S1) :S156-S181. doi : 10.1016/j.amepre.2009.10.023

60. Pilaud M, Guillemin C, Rouchouze B, Blanc J, Jourdan S. Étude des conditions de reprise de l'activité physique des femmes militaires en post-partum et évaluation des pratiques professionnelles des médecins généralistes militaires. Médecine et armées. 2025 ;51(1) :15-38. doi : 10.17184/eac.9266

61. Givens AC, Bernards JR, Kelly KR. Characterization of female US Marine recruits : workload, caloric expenditure, fitness, injury rates, and menstrual cycle disruption during bootcamp. Nutrients. 2023 ;15(7) :1639. doi : 10.3390/nu15071639

62. Mountjoy M, Sundgot-Borgen J, Burke L, Ackerman KE, Blauwet C, Constantini N, et al. International Olympic Committee (IOC) consensus statement on Relative Energy Deficiency in Sport (RED-S) : 2018 update. International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism. 2018 ;28(4) :316-31. doi : 10.1123/ijsnem.2018-0136

63. Hughes JM, O'Leary TJ, Koltun KJ, Greeves JP. Promoting adaptive bone formation to prevent stress fractures in military personnel. European Journal of Sport Science. 2022 ;22(1) :4-15. doi : 10.1080/17461391.2021.1949637

64. Lappe J, Cullen D, Haynatzki G, Recker R, Ahlf R, Thompson K. Calcium and vitamin D supplementation decreases incidence of stress fractures in female navy recruits. Journal of Bone and Mineral Research. 2008 ;23(5) :741-9. doi : 10.1359/jbmr.080102

65. Wentz LM, Ward MD, Potter C, Oliver SJ, Jackson S, Izard RM, et al. Increased risk of upper respiratory infection in military recruits who report sleeping less than 6 h per night. Mil Med. 2018 ;183(11-12) :e699-e704. doi : 10.1093/milmed/usy090