Article original

LIFE Project
Une ambition et une volonté

C. BOURRILHON(1), G. MILLIAT(2)

(1) Institut de Recherche Biomédicale des Armées
(2) 7e Centre Médical des Armées – 73e Antenne Médicale

Auteur correspondant : cyprien1.bourrilhon@intradef.gouv.fr

Open access DOI
10.17184/eac.7840

Reçu
le 5 mai 2021

Accepté
le 20 avril 2022

Publié
le 5 juin 2023

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

Résumé :

La thématique du froid pour les armées et en particulier pour le SSA était un axe de recherche, expertise et formation pour quelques spécialistes. Né en 2018, Le programme LIFE Project a eu pour objectif de valoriser au mieux les connaissances acquises dans le domaine de la recherche, de l'expertise et de la formation au profit des armées et du SSA. L'ouverture du conflit en Ukraine en février 2022 a accéléré cette prise de conscience et la nécessité d'agir en profondeur sur l'impact du climat froid sur nos actions militaires et SSA. Ce travail de réflexion est présenté dans cet article.

Mots-clés : Doctrine. Froid. Stratégie. SSA. Médecine d'armée.

Abstract:

The theme of cold weather, for the French Military and particularly for the Army Health Service (AHS), was an area of research, expertise and training for a few specialists. Created in 2018, the LIFEPROJECT program aimed to highlight the knowledge acquired in this field of research, expertise and training for the benefit of the army and the AHS. The outbreak of the Ukrainian conflict in February 2022 further hightened this awareness and the need to thoroughly act on the impact of cold weather on military and AHS missions. This headwork is presented in this article.

Keywords: Doctrine. Cold. Strategy. AHS. Military medicine.

1 Les pôles, un monde gelé instable

Arctique et Antarctique constituent deux territoires proches pour les conditions environnementales que l'on y rencontre, mais avec des différences géographiques, juridiques et géopolitiques. Sur le plan géographique, l'Antarctique est un continent glacé alors que l'Arctique est un océan gelé. Tous deux jouent un rôle clé dans la régulation du climat de notre planète. En Arctique, le réchauffement climatique actuel permet d'envisager le développement de nouvelles activités : exploitation du sous-sol, navigation, pêche. Les estimations des ressources arctiques apportées aux ressources mondiales représentent 10 % des réserves de pêche, 40 % des réserves mondiales de palladium, 22 % des réserves de nickel, 15 % des réserves de platine, 30 % des réserves mondiales en gaz et 10 % des réserves en pétrole (1, 2).
On estime que dans les années à venir, le tourisme arctique et antarctique représentera 5 à 10 % du tourisme mondial (3). Le réchauffement climatique va permettre l'exploitation de ces ressources jusqu'alors inaccessibles et l'ouverture de nouvelles voies maritimes (passage du Nord-Est).

Sur le plan juridique, l'Antarctique fait l'objet d'une gouvernance multilatérale depuis 1961 avec un traité qui a gelé les revendications territoriales. Ce traité a été complété par le Protocole sur l'Antarctique relatif à la protection de l'environnement (dit « Protocole de Madrid ») en 1998. On considère cette gouvernance comme durable, car ces textes n'ont aucune limite temporelle d'application.
L'Arctique, pour sa part, dispose du Conseil de l'Arctique. Fondé en 1996 par la Déclaration d'Ottawa, il s'agit d'une instance multilatérale constituée par les États riverains et les associations de peuples autochtones. Cette instance intergouvernementale fonctionne par consensus pour promouvoir les aspects environnementaux, économiques et sociaux du développement durable dans la région de l'Arctique. Il regroupe les huit États riverains des régions arctiques ou circumpolaires (le Canada, le Danemark, les États-Unis, la Finlande, l'Islande, la Norvège, la Russie, et la Suède), sept organisations représentant les peuples autochtones, treize États dits observateurs qui peuvent assister aux débats mais n'ont pas de droit de vote, et vingt organisations gouvernementales ou non gouvernementales, également observatrices.
En 2010, Michel Rocard, en tant qu'ambassadeur représentant la France chargé de la négociation internationale pour les pôles arctique et antarctique énonçait :
« En fait, pour être clair et court, nous les Français, en tant qu'observateurs au Conseil arctique, et que je sache la plupart des pays européens membres du Conseil, avons une seule peur. Cette peur concerne la lenteur de notre capacité à produire de la réglementation. Après des millénaires d'inaccessibilité et de désengagement, le changement climatique ouvre l'Arctique à toutes les activités humaines, au tourisme, à la pêche, à la navigation commerciale, à la production de pétrole et de gaz, aux extractions minérales, aux activités militaires sur les côtes. Certaines de ces activités, même si elles sont inexistantes actuellement, pourraient évidemment devenir massives dans les prochaines années, comme le tourisme, la pêche, la navigation commerciale, et concernent le monde entier. ».

Treize ans plus tard, le changement climatique, les tensions géopolitiques et les échos de la guerre en Ukraine ont profondément changé notre vision de ces territoires septentrionaux.

Depuis le milieu des années 2010, on observe un réveil et un intérêt des États-Unis sur le plan militaire, diplomatique et économique pour ces terres extrêmes. Pour la troisième fois de son histoire, en 2019, les États-Unis de Donald Trump ont proposé d'acheter le Groenland au Danemark (4).
La position géostratégique du Groenland vis-à-vis de la Russie, la base militaire de Thulé, la volonté de lutter contre l'expansionnisme économique chinois sur l'utilisation des ressources géologiques et la notion de pré-carré ont mis en exergue l'intérêt des Américains pour ces terres extrêmes. Une nouvelle feuille de route de l'US Navy pour les environnements polaires a été publiée (5, 6).
Le renforcement des capacités propres (augmentation du nombre de brise-glaces) et le développement des partenariats militaires avec les pays riverains de l'arctique (Canada, Norvège), mais également avec les pays membres de l'OTAN sont au cœur de la stratégie américaine. Le Congrès américain suit annuellement cette remontée en puissance montrant ainsi son intérêt marqué pour ces territoires (figure 1, tableau I) (Congress Report Service, 2023) (7).

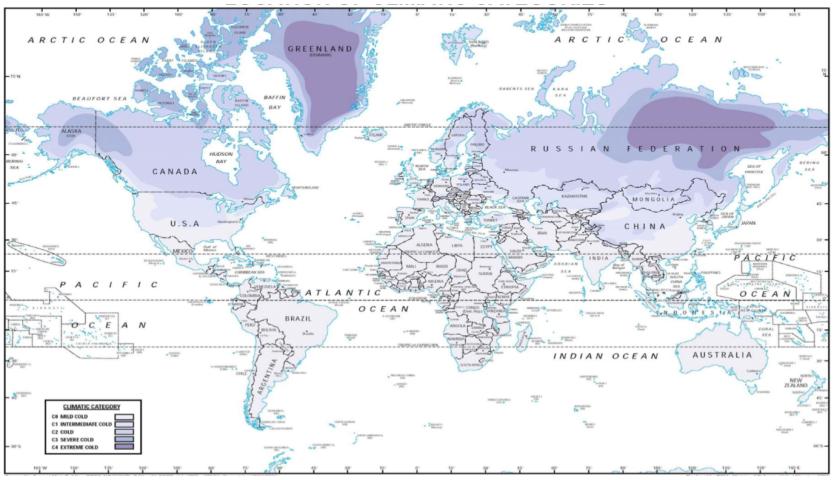


Fig. 1 : Localisation des catégories climatiques

Tab. 1 : Classification des climats froids selon l'AECTP 230 de l'OTAN

	C0	C1	C2	C3	C4
	froid léger	froid intermédiaire	froid	froid sévère	froid extrême
heures	mild cold	intermediate cold	cold	severe cold	extreme cold
0300	-19	-32	-46		
0600	-19	-32	-46		
0900	-15	-26	-43		
1200	-8	-21	-37	constant à -51°C	constant à -57°C
1500	-6	-21	-37	toute la journée	toute la journée
1800	-10	-25	-39		
2100	-17	-28	-43		
2400	-19	-32	-45		

Côté russe, depuis le début des années 2000, on observe également une amélioration des moyens capacitaires en zone arctique et le maintien de ses aptitudes en zone antarctique. La Russie dispose, à ce jour, de la plus grande flotte mondiale de navires brise-glaces (51 navires). Depuis 2013, elle a construit six nouvelles bases dans l'Arctique et en 2019, elle a revendiqué plus de 1,2 millions de km^2 sous l'océan Arctique dans la continuité de son territoire dans une perspective d'exploitation des ressources géologiques avec ses partenaires. Au Svalbard (territoire sous la souveraineté de la Norvège depuis 1920), la Russie maintient sa cité minière de Barentsburg ainsi qu'une présence russe permanente sur l'unique aéroport de l'archipel créant, de fait, une situation de tension diplomatique avec la Norvège (Truc 2019)(8). Depuis le début de la guerre en Ukraine, la crainte est d'observer la mise en place d'un déni d'accès sur le passage maritime du Nord-Est par la Russie…

Pour sa part, la Chine étend son influence au travers de projets et partenariats économiques avec certains territoires arctiques (Russie, Groenland, Islande).
Depuis 2013, elle est devenue membre observatrice au sein du Conseil de l'Arctique et se positionne dans une 3^e voie diplomatique en se définissant comme pays du « proche Arctique » (9). À ce titre, elle souhaite bénéficier du droit de passage « innocent » que ce soit pour la route du nord-est (Russie) (encore appelée « route de la soie arctique ») ou pour la route du nord-ouest (Canada), ce même droit qu'elle refuse en mer de Chine du sud… Au sud, l'attitude de la Chine paraît également pour le moins suspecte avec la construction récente de quatre bases scientifiques sur le continent antarctique (Grande Muraille en 1985, base de Zongshan en 1989, Kunlun en 2009 et Taishan en 2014) avec des impacts environnementaux importants et une faible collaboration scientifique internationale sur ces sites…

Dans un avenir proche, une révision du moratoire sur l'exploitation des ressources minérales en Antarctique, permise en 2048 par le Protocole de Madrid pourrait figurer prochainement à l'agenda de la Chine et de la Russie et conduire à une crise du multilatéralisme polaire.

2 La France et les hautes latitudes : une place à part

La France a toujours tenu un rôle particulier sur ces territoires, lié à son histoire, à ses explorations scientifiques et à ses territoires. À ce jour, on dénombre quatre enjeux stratégiques pour la France : économique, scientifique, réglementaire et militaire.

Les enjeux économiques sont importants pour la France qui dispose de la deuxième Zone Économique Exclusive (ZEE) au monde. Ces zones maritimes présentes dans l'Atlantique, l'océan Indien ou dans le Pacifique, constituent des zones de pêches, de tourisme et de vie pour des Français à qui la France doit protection et sécurité. Plus septentrionales, les zones arctique et antarctique intéressent également la France pour les territoires qu'elle détient ou qu'elle revendique et pour les activités économiques qu'elle peut y mener. Ces enjeux économiques représentent des opportunités pour des sociétés de droit français (compagnie du Ponant, Total, AXA, Crédit Agricole, par exemple).

Des enjeux scientifiques et universitaires : le dernier recensement au CNRS montrait que trente départements scientifiques travaillent avec le monde polaire dans des domaines très variés tels que les Sciences Humaines et Sociales, la Glaciologie, la Biologie, la Géologie… Cela représente une communauté scientifique estimée à plus de 800 chercheurs.

Des enjeux politiques : grâce à la contribution scientifique des explorateurs et chercheurs français depuis plus d'un siècle au sein des Terres australes et antarctiques françaises ; de leur présence permanente sur les bases de Crozet, Kerguelen, Amsterdam, Dumont d'Urville ou Concordia ; de ses territoires d'outre-mer à Saint-Pierre et Miquelon ou de participations scientifiques au sein de la base AWIPEV à Ny-Alesund sur le Spitsberg, la France peut revendiquer une place d'actrice principale au sein du Conseil de l'Antarctique ou d'observatrice permanente au sein du Conseil de l'Arctique. La France avec l'Australie fut l'un des pays instigateurs et rédacteurs principal du Traité de l'Antarctique ratifié en 1991 à Madrid. En 2021, sous l'impulsion du nouvel ambassadeur pour les pôles et les enjeux maritimes, Olivier Poivre d'Arvor, une nouvelle « stratégie polaire de la France à horizon 2030 : équilibrer les pôles » a été publié (9).

3 Enjeu pour les armées françaises

Pour assurer son rôle en tant que membre permanent au sein du Conseil de sécurité de l'ONU, la France s'appuie sur ses moyens diplomatiques et militaires. Les armées doivent être capable de se projeter, de stationner, voire de combattre sur des territoires où l'environnement reste hostile pour la vie humaine. La France répond à ces enjeux en participant à des exercices internationaux (COLD RESPONSE, TRIDENT JUNCTURE, AURORA, NATO TIGER MEET…), en envoyant des troupes sur des missions OTAN en environnement froid (ENHANCED AIR POLICING, LYNX, AIGLE) et en menant des exercices en autonomie.

Pour l'armée de Terre, la BIM et plus particulièrement l'EMHM est garante de la formation des experts « grand froid ». Progressivement, elle a introduit dans son cursus d'apprentissage des formations milieux froid dont le stage UPPICK, représente la pointe de diamant. Ce stage, encadré par le GMHM ou en autonomie, permet chaque année à des GCM de vivre et de se déplacer pendant trois semaines en milieu arctique. Depuis 2018, ce stage est suivi annuellement par l'IRBA dans le cadre du programme LIFE Project. Au-delà d'UPPICK, le GMHM lors de ses expéditions explore les limites physiologiques et psychologiques de la vie dans ces environnements froids. Ses expéditions en Patagonie, en Arctique et Antarctique permettent de développer et d'innover dans de nombreux domaines : cartographie, déplacement, communication, énergie…

Pour l'armée de l'Air et de l'Espace, armée technologique par excellence, le défi du froid est immense : préparation d'un terrain d'aviation, sécurisation des pistes, contrôle aérien, protection des aéronefs contre le froid, le gel, la neige, faible couverture GPS en zone polaire, survie en cas d'éjection… En participant annuellement aux missions de police du ciel dont elle est la 2^{e} contributrice depuis 2007, l'armée de l'Air et de l'Espace dispose de compétences.

La Marine nationale héritière de Dumont d'Urville et représentante de la France de par le monde a une place particulière dans la stratégie nationale sur le monde arctique et antarctique. Depuis 2016, elle arme de nouveau un brise-glace : l'Astrolabe. Elle comptabilise plus de 200 jours de mer en zone polaire chaque année. En janvier 2023, en collaboration avec le GMHM, la Marine nationale a effectué un exercice de survie en Antarctique pour son équipage.

Cette approche structurée concerne aujourd'hui un petit nombre de militaires permettant de maintenir la compétence mais ne pourrait pas être suffisante dans le cadre d'un conflit de haute intensité où des limites capacitaires apparaîtraient (3, 10).
En 2022, à la suite de l'invasion de l'Ukraine par la Russie, une accélération de la prise en compte des enjeux grand froid s'est faite au sein du ministère des Armées marquée par l'organisation du séminaire grand froid dans un cadre interarmées à l'IRBA le 8 juin 2022. L'année 2023 a été marquée par la publication de la feuille de route du ministère des Armées pour l'antarctique et le subantarctique et par l'organisation par la Marine nationale du séminaire des hautes latitudes.

4 Environnement froid : un enjeu pour le SSA

Si, depuis de nombreuses années, les militaires français sont sur des théâtres opérationnels « chauds » et en connaissent les contraintes sur les aptitudes humaines, il n'en est pas de même du climat froid. Depuis la fin de la Seconde Guerre mondiale, les armées françaises n'ont plus été engagées sur un théâtre d'opération « froid ».

Les questions sont nombreuses pour le SSA :

Sur le plan physiologique : Pouvons-nous prévenir les risques pour l'homme d'une exposition au froid ? Quelles en sont les limites humaines ? Peut-on définir des températures ou des durées limite d'exposition ? Pouvons-nous optimiser la tolérance générale et locale au froid de nos militaires ? Quels sont les contre-mesures que nous devons développer pour le militaire en ambiance froide ?

Sur le plan physiopathologique, les questions sont tout aussi nombreuses pour la médecine des forces : Existe-t-il des facteurs de risques individuels à prendre en compte dans l'aptitude médicale ? Doit-on adapter notre doctrine de prise en charge médicale ? Devons-nous développer des dispositifs médicaux spécifiques en environnement froid ? sur le plan pharmacologique, est ce qu'une exposition à un environnement froid peut modifier la pharmacodynamie, la pharmacocinétique voire la toxicité du médicament en particulier nos médicaments injectables d'urgence ? Est-ce que les personnels soignants doivent disposer d'équipements de protection individuels spécifiques pour travailler en ambiance grand froid ?

Afin de répondre à ces questions centrées sur l'homme, le programme « Live In Freeze Environment » (LIFE Project) est né en 2018. Issu de l'IRBA, il représente une approche regroupant à la fois la recherche, l'innovation et l'expertise du SSA sur une thématique commune : la vie de l'homme en ambiance froide.

4.1 Pour une meilleure compréhension de la physiologie humaine en environnement froid

De tout temps, le froid a constitué une problématique de survie pour l'Homme.
Né au sein de la corne de l'Afrique, l'être humain, est un homéo-endotherme dont la température centrale oscille autour de 37 °C au repos. Au cours des millénaires et de son voyage au travers des continents, l'Homme s'est progressivement adapté pour vivre au sein de climats de plus en plus froids. Progressivement, il a appris à percevoir un éventail de températures, à les intégrer au niveau central et à provoquer des réactions physiologiques limitant ses pertes de chaleur grâce à son métabolisme énergétique, au développement de contre-mesures physiologiques telles que le frisson, l'utilisation de son tissu adipeux (blanc et brun), de ses réactions vasculaires, etc.
Au cours des vingt dernières années, une famille de récepteurs sensibles au stress thermique a fait l'objet de nombreuses études. Il s'agit des TRP (Transient Receptor Potential) (11). Parmi ceux-ci, TRPM8 et TRPA1 ont été décrits comme des récepteurs sensibles au froid (12). Colburn *et al.* ont montré que la délétion du gène codant pour TRPM8 entraînait une baisse de la tolérance au froid aussi bien sur le plan comportemental que physiologique (13).
Plus récemment, des études se sont intéressées à l'évolution du patrimoine génétique de TRPM8 chez des populations vivant dans des environnements climatiques variés. Key *et al.* ont émis l'hypothèse que lors de la migration hors d'Afrique, les températures froides des latitudes septentrionales ont été un moteur d'une sélection positive qui a affecté les niveaux d'expression de TRPM8, qui à son tour a affecté la sensation de froid (14).
Depuis, d'autres gènes ont été observés comme ayant le même type d'adaptation au froid. Ces études génétiques ont confirmé le rôle et l'importance de l'environnement thermique dans l'expression phénotypique des gènes et de l'adaptation des populations à leur milieu au cours des siècles.
Si le XXI^{e} siècle sera peut-être le siècle de l'individualisation de la réponse thermophysiologique, le XX^{e} siècle a été celui de l'élaboration des connaissances en thermophysiologie. Grâce aux connaissances en physique thermodynamique, les médecins chercheurs ont progressivement posé les bases de la thermophysiologie. Les observations humaines sur le terrain et en laboratoire, le développement des différentes mesures (température centrale, température cutanée, électromyographie, doppler, métabolisme énergétique) ont permis aux physiologistes de proposer différents modèles d'adaptations de l'homme au froid. (Hammel 1963 et LeBlanc 1992) ont ainsi proposé trois modèles d'adaptation au froid : le modèle isolatif, métabolique et mixte (figures 2,3,4) (15, 16).



Fig. 2 : Plongeuse AMA, adaptation au froid selon un modèle isolatif



Fig. 3 : Bushman du désert du Kalahari, adaptation au froid selon un modèle isolatif



Fig. 4 : Inuits, adaptation au froid selon un modèle métabolique

Dans le modèle métabolique, l'organisme augmente sa thermogénèse grâce à une augmentation de sa dépense énergétique *via* le frisson musculaire, alors que dans le modèle isolatif, il réduit ses pertes de chaleur en limitant ses pertes convectives (*via* une diminution de sa circulation sanguine cutanée) et sans augmentation de son métabolisme énergétique.
Le modèle mixte étant une synthèse des deux modèles précédents.

Dans cet effort de connaissance, il faut rappeler la part importante prise par le service de santé des armées (SSA).
Boutelier, Houdas, Colin au sein du laboratoire de médecine aérospatiale ont posé un grand nombre d'équations toujours utilisées de nos jours (17-21). L'équipe lyonnaise menée par le MGI René Hénane, puis par le MG Jacques Bittel, prit également une part importante dans le développement de cette école française de la thermophysiologie (22). Ensemble, Savourey et Bittel ont revu les modèles thermophysiologiques proposés au début des années 60. Passant des modèles qualitatifs (métaboliques, isolatifs et mixtes) proposés par Hammel, ils ont proposé des modèles quantitatifs d'adaptation au froid (23, 24) (tableau II). Enfin s'affranchissant des modèles, ils ont proposé une vision dynamique de la thermorégulation au sein de PREDICTOL qui permettait une première approche dans la détermination de la durée limite d'exposition (25).

Tab. 2 : General and local cold adaptation after a ski journey in a severe arctic environment (23)

Variable Physiologique	Evolution lors de l'acclimatation	modifications	Modèles froid
Température rectale (T_{re} en °C)	**Δ T_{re}** *Où T_{re} est la valeur finale à la fin du test froid général*	↗ ou =	**Normothermique**
		↘	**Hypothermique**
Température cutanée moyenne (T_{sk} en °C)	**T_{sk} (après) / T_{sk} (avant)** *Où T_{sk} est la valeur finale à la fin du test froid général*	<1	**Isolatif**
		=1	**Iso-isolatif**
		>1	**Hypo-isolatif**
Métabolisme (Ṁ en W.m-2)	**Ṁ (après) / Ṁ (avant)** *Où Ṁ est la valeur finale à la fin du test froid général*	>1	**Métabolique**
		=1	**Iso-métabolique**
		<1	**Hypométabolique**

Ainsi, en 2023, nous pourrions croire que tout est dit, tout est fait… Est-il utile de poursuivre les études dans le domaine de la thermophysiologie au sein des armées et du SSA ? La réponse est dans le questionnement. Le militaire doit être capable de s'engager en tout lieu et en tout temps. L'accident de Barcelonnette en 2004 a tristement rappelé qu'un accident hypothermique pouvait survenir en France et aboutir à la mort (26).

Les accidents locaux au froid ne sont pas en reste et surviennent chaque hiver.

Les gelures (ou Freeezing Cold Injury – FCI) qui se caractérisent par un gel du tissu ont des conséquences opérationnelles immédiates : « on ne marche pas avec un pied gelé, on ne tire pas avec une main gelée ». Les séquelles d'une gelure sont réelles (27).

L'exposition au froid induit de nombreuses questions spécifiques à l'homme et pour lequel le SSA se doit de répondre auprès des armées : aptitude, acclimatation, activité, durée limite d'exposition, prise en charge médicale… Indépendamment des modes et aléas scientifiques, le SSA doit assurer une continuité dans la connaissance de la thermophysiologie, mettre à disposition des armées une expertise et une indépendance décisionnelle si celles-ci devaient être amenées à se déployer en ambiance froide.

C'est pour ces raisons que la recherche du SSA n'a jamais abandonné ses travaux dans le domaine de la thermophysiologie depuis plus de 50 ans. En décembre 2020, l'ouverture de la chambre climatique de l'IRBA a marqué un signal fort du SSA dans son engagement à poursuivre cette aventure scientifique, technique et médicale de la thermophysiologie (figure 5).

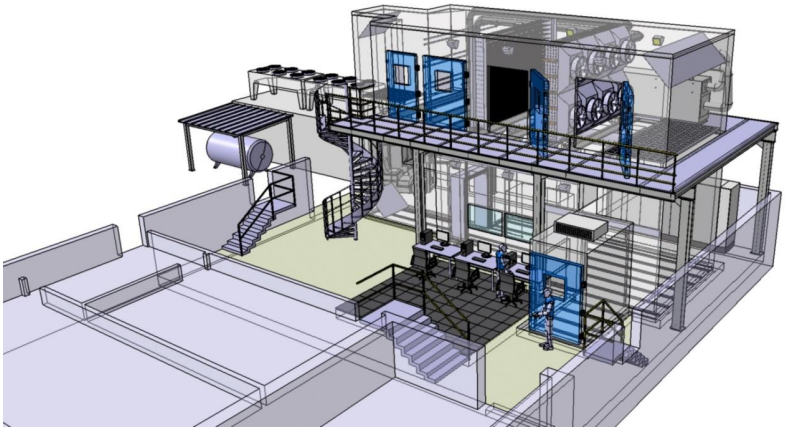


FIG. 5 : Chambre climatique de l'IRBA

De nouvelles approches scientifiques apparaissent :

- Quelle est la part de la variabilité individuelle dans la tolérance locale ou générale au froid de l'homme ? Quelles sont les possibilités d'acclimatation en fonction de nos profils individuels ? Avons-nous la possibilité de favoriser un modèle d'acclimatation au froid et, si oui, *via* quels mécanismes ?
- Comment pouvons-nous modéliser notre réponse au froid afin de prévenir le risque de survenue de pathologies au sein de la population militaire ?
- Est-ce que des contre-mesures physiologiques (type d'alimentation), technologiques (textile) pourrait interférer positivement ou négativement dans nos modèles de tolérance locale et/ou générale au froid, voire d'acclimatation ?

Si nos recherches en thermophysiologie permettent d'éclairer nos questionnements en termes d'aptitude, d'entraînement et d'acclimatation, notre recherche doit également apporter son appui à nos confrères médecins d'unités et hospitaliers dans la prise en charge de nos blessés en environnement froid. Lors du 5^{e} Congrès International de la Performance Physique du Soldat qui eut lieu en février 2020, les chercheurs internationaux du domaine froid ont proposé une liste de huit enjeux à réaliser concernant la vie du militaire en milieu froid (28) :

1. améliorer la protection thermique des mains ;
2. améliorer la gestion de l'humidité textile ;
3. améliorer la protection de la face ;
4. disposer d'un monitoring physiologique de sujets exposés au froid ;
5. améliorer la formation des sujets novices pour vivre en environnement froid dans des environnements protégés (progressivité de la formation) ;
6. développer des locaux de prise en charge médicaux isolants à faible signature thermique ;
7. améliorer les connaissances physiologiques sur la thermogénèse pour mieux prévenir le risque de survenue de l'hypothermie ;
8. améliorer les protocoles de prise en charge médicale au froid.

Cette liste non exhaustive constitue les premiers éléments de réflexion. Les armées et le SSA devront compléter et hiérarchiser cette liste. Les travaux sont déjà engagés, certains à un niveau exploratoire d'autres sont déjà intégrés dans le fonctionnement de nos armées.
Dans le cadre de LIFE Project, le GMHM a travaillé plus particulièrement sur la protection des extrémités du corps humain. Le travail sur la protection de la face a constitué un véritable défi : comment éviter la formation de glace tout en se protégeant du froid alors qu'en permanence vous expirez un air chaud saturé en vapeur d'eau… Le GMHM a relevé le défi et a conçu une protection faciale qu'ils ont éprouvée lors d'une traversée du Groenland et des raids UPPICK. Le GMHM a tenté de développer un nouveau système de chaussant qui ne les a pas convaincus. Car l'innovation c'est aussi cela : parfois l'échec ! Enfin, le GMHM a développé avec un gantier français, un lobster. Plus amont dans la recherche, l'IRBA au sein de LIFE Project essaye de faire avancer l'idée du gant intelligent avec plusieurs partenaires industriels soutenus par la DGA. La rupture technologique est identifiée au travers de la mise au point de la micro-électronique souple et extensible appliquée au textile. Il s'agit maintenant de casser les logiques de silos industriels et de faire collaborer des entreprises spécialisées dans l'électronique pour une part, et dans le textile, d'autre part…
Dans le soutien de l'homme, l'alimentation a une place particulière. Nos collègues chercheurs de l'OTAN se placent souvent dans une vision quantitative et de supplémentation. Cette approche exclusive trouve ses limites lors de plusieurs expéditions ou exercices militaires au froid où il a été observé une « non » prise alimentaire avec une négativation de la balance énergétique et une perte de poids alors que les aliments étaient disponibles… (29). Est-ce que le froid instaure une anorexie « volontaire » ou influence-t-il nos appétences alimentaires ? La question de nos choix alimentaires est posée… Dans le cadre de LIFE Project, l'IRBA, après avoir vérifié l'approche quantitative et confirmé la négativation de la balance énergétique lors d'un raid au Groenland, a décidé de développer un axe de recherche dans le domaine des appétences alimentaires (29, 31). Ce travail mené en collaboration avec le service du commissariat aux armées (SCA) permet d'avancer dans l'établissement de la ration « grand froid ».

Les échanges scientifiques et techniques avec les nations vivant en milieu froid sont à ce titre fondamentaux. Le programme « Cold Weather Operations » (CWO) de l'Agence européenne de défense (AED) permet ce type d'échanges. En participant à CWO, l'IRBA avec la DGA acquièrent des compétences et échangent avec les centres de recherche des Pays-Bas, de la Norvège et de la Suède. Ces travaux permettent d'observer certains choix stratégiques pris par certaines armées. Depuis près de dix ans, les États-Unis ont intégré le monitoring physiologique dans l'acquisition de connaissances allant jusqu'à déployer ces systèmes sur théâtres d'opérations (32,33).
Au sein du programme CWO, certains participants ont fait un choix analogue.
Pour la France, ce travail est également mené dans le cadre de LIFE Project. Au cours de la mission UPPICK, l'ensemble des militaires bénéficient d'un monitoring continu. Ce travail exploratoire, sur un effectif réduit, nous a permis de valider la pertinence, la qualité et l'intérêt ou non des mesures effectuées. Ces données acquises tout au long de la mission ouvrent des perspectives différentes des mesures effectuées avant et après un raid. Ce type de monitoring continu et multiparamétrique devrait nous permettre de mieux appréhender le processus d'acclimatation au froid.

Dans le futur, nous pensons qu'il nous permettra de visualiser en « temps réel » les mécanismes de bascule d'un état physiologique à un état pathologique et de proposer des contre-mesures afin de maintenir une capacité opérationnelle de l'individu.

4.2 Pour une meilleure prise en charge du blessé de guerre

4.2.1 De nécessaires adaptations de notre doctrine

Pour le SSA, les enjeux d'un déploiement en climat froid sont doctrinaux, humains et matériels.
La doctrine de la prise en charge du blessé de guerre est établie. Les cursus de formation avec les différentes étapes du sauvetage au combat et les stages réservés aux médecins et infirmiers sont en place mais la spécificité grand froid reste à préciser.
Les questions sur la prise en charge des pathologies liées au froid (gelure, hypothermie, acrosyndrome…) sur le terrain doivent faire l'objet de consensus et de procédures pratiques. La question de l'utilisation d'un médicament tel que l'ILOPROST est posée (34). Ce médicament a prouvé son efficacité dans la prise en charge de la gelure et en a révolutionné son pronostic (35), mais sa délivrance est réservée au milieu hospitalier. Quelle place dans un *Role 1* ? Un soldat blessé présente un risque hypothermique accru en environnement froid. Le sauvetage au combat nécessitera une attention particulière tout au long de la prise en charge pour limiter au mieux l'hypothermie et ses conséquences délétères. Des dispositifs médicaux adaptés vont devoir être développés (WRAP exothermique, réchauffeur de perfusion, véhicule médical chauffé, tente « point chaud », garrot tourniquet non métallique, etc…). L'environnement touche également les capacités du soignant : le travail à « mains nues » est quasi impossible, la mesure d'une température centrale est problématique, les constantes vitales sont difficiles à prendre… Le conflit en Ukraine montre que l'absence de moyens d'évacuation tactiques aériens induit des durées d'évacuation de plusieurs heures qui sont un défi pour la survie de patients hypothermiques traumatiques. Certains gestes chirurgicaux de sauvetages devront être envisagés au *Role 1*, afin de préserver les chances de survie du blessé de guerre.
Ces adaptations doctrinales vont devoir être enseignées *in situ* et la mise en œuvre d'un MSBG hivernal doit être envisagée.

4.2.2 De nécessaires innovations sur nos dispositifs médicaux

Les dispositifs médicaux et médicaments constituent un enjeu majeur. Notre expérience au sein de l'Elément Mobile de réanimation (EMR) de Mulhouse pendant la crise COVID a montré que certains dispositifs médicaux (dispositif de diagnostic biologique, type EPOC®) ont trouvé leurs limites d'utilisation lorsque la température sous tente était inférieure à + 15 °C (36). Les respirateurs LTV1200® actuellement en service dans nos avions ne sont pas utilisables à des températures inférieures à + 5 ° C. Quant à l'Elysée 350® qui équipe nos antennes chirurgicales, si la température d'utilisation acceptée est - 10 °C, sa température de stockage et de transport est également de - 10 ° C… Des solutions palliatives ont été développées au sein du SSA. Dans le cadre d'une mission innovation participative (MIP), l'HIA Begin a développé un dispositif de protection pour les analyseurs de gazométrie délocalisés (projet 2018009S). Dans le cadre de LIFE Project, l'IRBA avec l'antenne médicale de Gap du 7e CMA développe un ampoulier thermorégulé (figure 6).

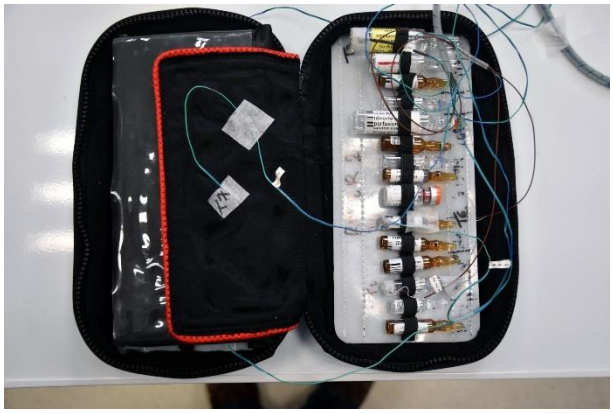


Fig. 6 : Prototype d'ampoulier chauffant sur banc d'étude

À l'avenir, il paraît indispensable d'exiger auprès des industriels répondant à un appel d'offre de disposer d'un dispositif médical répondant au minimum à la norme militaire américaine MIL-STD-810 qui garantit des conditions environnementales d'utilisation entre – 20 °C et + 55 °C.

L'environnement froid va renforcer le besoin d'un monitoring intégré dans la tenue des constantes vitales du militaire afin d'optimiser sa prise en charge médicale sans déshabillage.

4.2.3 Des interrogations sur nos médicaments

Les règles de conservation des médicaments ne sont souvent pas respectées en environnement de combat. L'apparition de nouvelles formes d'administration des médicaments, par inhalation par exemple, interroge sur leur efficacité et leur innocuité en ambiance froide… Des travaux exploratoires menés avec le 7e CMA ont montré que les conditions de conservation sur le terrain ne sont souvent pas en accord avec les recommandations des laboratoires pharmaceutiques (37). Sur le terrain, des relevés expérimentaux effectués par l'IRBA en association avec des médecins d'unités montrent que, lors de raids en environnement froid, les mesures thermiques des ampouliers présentent des passages en températures négatives associées à de fortes amplitudes nycthémérales. *A contrario*, les travaux menés par l'IRBA et le 7e CMA sur le méthoxyflurane inhalé, montre qu'après une exposition de longue durée à – 20 °C ou à l'issue de cycles congélation/décongélation, celui-ci ne présente pas d'altération de sa stabilité (38). Des travaux universitaires portant sur l'influence de la température sur la pharmacologie des médicaments paraissent nécessaires.

Conclusion

Le conflit en Ukraine a repositionné sur le devant de la scène une guerre en Europe, de haute intensité dans un environnement froid. On ne peut plus exclure une confrontation de nature militaire sur un territoire où nos militaires seraient exposés à des températures inférieures à – 20 °C. Les enjeux humains portent sur la formation de l'ensemble des militaires. Il est nécessaire de réapprendre à s'aguerrir en milieu froid.

Pour le SSA, des adaptations doctrinales du sauvetage au combat devront prendre en compte cette spécificité environnementale. De cette adaptation doctrinale découleront des investissements capacitaires. Des innovations sont attendues à chaque étape du sauvetage au combat avec un enjeu majeur sur le monitoring du blessé de guerre et la lutte contre l'hypothermie. Le programme LIFE Project en regroupant les différentes thématiques de recherche, expertise/innovation et formation sur la thématique froide renforce les synergies du SSA et la valorisation auprès des armées.

Remerciements au linguiste relecteur : Antoine Garnier.

Références bibliographiques

1. Wakim, N. Total lance Yamal, son mégaprojet gazier dans l'Arctique russe. Le Monde. 2017.
2. Gros, P. T., E. Arctique / Atlantique Nord : problématiques stratégiques et capacitaires. Fr Stratégie. 2019.
3. Battis, S., G. Boquerat, C. Escudé, I. Facon, P. Hebrard, B. Lassalle, V. Niquet and A. Taithe. Le grand nord devient une zone de cofrontation potentielle. Est-il nécessaire pour la France de se préparer à opérer dans cette région et comment le faire ?" Fr Stratégie. 2016 ;251 :256.
4. Salama, V. B., R. Restuccia, A. Bender, M. President Trump eyes a new real estate purchase : Greenland. Wall Street Journal. 2019.
5. Guard, U.S.C. Arctic strategic outlook. 2019 ;48.
6. Navy, d.o.t. A strategic blueprint for the arctic. 2021.
7. CongressReportService. Coast Guard Polar Security Cutter (Polar Icebreaker) Program : Background and Issues for Congress. 2023 ;71.
8. Truc, O. Norvège : le panier de crabes du Svalbard. Le Monde. 2019.
9. Poivre d'Arvor, O. Équilibrer les extrêmes : stratégie polaire de la France à horizon 2030. 2021.
10. Sancier, P. Les opérations en milieux froids : quels enjeux pour les armées ?" École de guerre-Terre. 2021.
11. Vassort, G. and J. Fauconnier. Transient receptor potential, TRP channels : a new family of channels broadly expressed. Med Sci (Paris). 2008 ;24(2) :163-68.
12. Pan, Y., D. Thapa, L. Baldissera, Jr., F. Argunhan, A. A. Aubdool and S. D. Brain. Relevance of TRPA1 and TRPM8 channels as vascular sensors of cold in the cutaneous microvasculature. Pflugers Arch. 2018 ;470(5) :779-86.
13. Colburn, R. W., M. L. Lubin, D. J. Stone, Jr., Y. Wang, D. Lawrence, M. R. D'Andrea, M. R. Brandt, Y. Liu, C. M. Flores and N. Qin. Attenuated cold sensitivity in TRPM8 null mice. Neuron. 2007 ;54(3) :379-86.
14. Key, F. M., M. A. Abdul-Aziz, R. Mundry, B. M. Peter, A. Sekar, M. D'Amato, M. Y. Dennis, J. M. Schmidt and A. M. Andres. Human local adaptation of the TRPM8 cold receptor along a latitudinal cline. PLoS Genet. 2018 ;14(5) :e1007298.
15. Hammel, H. T. Effect of race on response to cold. Fed Proc. 1963 ;22 :795-800.
16. LeBlanc, J. Mechanisms of adaptation to cold. Int J Sports Med. 1992 ;13(Suppl 1) :69-72.
17. Colin, J., Y. Houdas and C. Boutelier. Experimental determination of the effective thermal radiation surface in man. C R Acad Hebd Seances Acad Sci D. 1966 ;262(18) :1966-69.
18. Colin, J. and Y. Houdas. Experimental determination of coefficient of heat exchanges by convection of human body. J Appl Physiol. 1967 ;22(1) :31-8.
19. Colin, J., J. Timbal and Y. Houdas. Experimental validation of the concept of the temperature globe. J Physiol (Paris). 1967 ;59(Suppl1) :227.

20. Houdas, Y., A. Sauvage, M. Bonaventure and J. D. Guieu. Model of evaporative response to an increase in thermal load. J Physiol (Paris). 1973 ;66(2) :137-61.

21. Houdas, Y. Development of a new concept on temperature regulation in man. Acta Physiol Pol. 197 ;28(14) :1-19.

22. Henane, R. The adaptation of man to cold environments. Ergonomic and medico-military aspects. Rev Corps Santé Armées Terre Mer Air. 1970 ;11(2) :129-49.

23. Savourey, G., A. L. Vallerand and J. H. Bittel. General and local cold adaptation after a ski journey in a severe arctic environment. Eur J Appl Physiol Occup Physiol. 1992 ;64(2) :99-105.

24. Launay, J. C. and G. Savourey (2009). Cold adaptations. Ind Health. 1992 ;47(3) :221-27.

25. Besnard, Y., J. C. Launay, A. Guinet-Lebreton and G. Savourey. PREDICTOL : a computer program to determine the thermophysiological duration limited exposures in various climatic conditions. Comput Methods Programs Biomed. 2004 ;76(3) :221-28.

26. Schlienger, D. Hypothermie accidentelle : peuton améliorer la prévention et la prise en charge sur le terrain ? Thèse de médecine. 2011.

27. Appriou, C. Pathologies d'altitude : prévalence et connaissances des méthodes de prévention chez les chasseurs alpins. Thèse de médecine. 2014.

28. Sullivan-Kwantes, W., F. Haman, B. R. M. Kingma, S. Martini, E. Gautier-Wong, K. Y. Chen and K. E. Friedl. Human performance research for military operations in extreme cold environments. J Sci Med Sport. 2021 ;24(10) :954-62.

29. Ahmed, M., I. Mandic, E. Desilets, I. Smith, W. Sullivan-Kwantes, P. J. Jones, L. Goodman, I. Jacobs and M. L'Abbe. Energy Balance of Canadian Armed Forces Personnel during an Arctic-Like Field Training Exercise. Nutrients. 2020 ;12(6).

30. Charlot, K., C. Faure and S. Antoine-Jonville. Influence of Hot and Cold Environments on the Regulation of Energy Balance Following a Single Exercise Session : A Mini-Review. Nutrients. 2017 ;9(6).

31. Charlot, K., D. Chapelot, P. Colin and C. Bourrilhon. Daily energy balance and eating behaviour during a 14-day cold weather expedition in Greenland. Appl Physiol Nutr Metab. 2020 ;45(9) : 968-77.

32. Liu, Y., S. H. Zhu, G. H. Wang, F. Ye and P. Z. Li. Validity and reliability of multiparameter physiological measurements recorded by the Equivital LifeMonitor during activities of various intensities. J Occup Environ Hyg. 201 ;10(2) : 78-85.

33. Welles, A. P., M. J. Buller, L. Margolis, D. Economos, R. W. Hoyt and M. W. Richter. Thermal-work strain during Marine rifle squad operations in Afghanistan. Mil Med. 2013 ;178(10) : 1141-48.

34. Cauchy, E., B. Cheguillaume and E. Chetaille. A controlled trial of a prostacyclin and rt-PA in the treatment of severe frostbite. N Engl J Med. 2011 ;364(2) : 189-90.

35. Cauchy, E., C. B. Davis, M. Pasquier, E. F. Meyer and P. H. Hackett. A New Proposal for Management of Severe Frostbite in the Austere Environment. Wilderness Environ Med. 2016 ;27(1) : 92-9.

36. Tardo-Dino, P. E. b., C. Rapport d'expertise mission EMR Mulhouse. Aspects thermophysiologiques. epidéme COVID 19. Rapport IRBA. 2020.

37. De Lamberterie, J. B. Stabilité chimique des drogues d'urgence en ambiance froide : état des lieux, retour d'expérience sur trois expéditions en zone froide et perspectives. D.E.S.C. de médecine d'urgence. 2018.

38. Leroulley, D. Étude de la stabilité du methoxyflurane (penthrox) au froid. Mémoire DIU médecine de montagne. 2021.