

Etude des coûts énergétiques des sapeurs-pompiers associés au port des équipements de protection individuelle

Organisation du soutien sanitaire opérationnel des sapeurs-pompiers.

I Présentation de l'étude

Le SDIS 06 a engagé un projet d'acquisition réglementaire de nouveaux équipements de protection individuelle, afin d'assurer un niveau de sécurité élevé, des personnels intervenants en situation hostile, notamment en feux urbains.

Cette démarche de l'employeur s'accompagne aujourd'hui d'une étude concernant les nouveaux équipements de protection individuelle, destinés à protéger les sapeurs-pompiers contre un risque ou un danger spécifique.

Néanmoins, la haute technicité ou particularité de ces équipements, associée à une situation hostile, entraîne sur le plan physiologique des variables utiles à connaître, afin de mieux préparer les personnels à leur utilisation, d'en connaître les limites, et de proposer une réflexion concernant le soutien sanitaire. Il n'est en aucun cas question de remettre en cause, ni la norme, ni l'acquisition des nouveaux EPI du SDIS 06.

Rappelons l'importance et la nécessité d'une bonne connaissance des bénéfices et contraintes de tout nouvel équipement de protection individuelle, de la dispense d'une information adaptée aux personnels utilisateurs, ainsi qu'à leur encadrement.

Dans le cadre de l'approche évolutive d'une culture du risque et de sa prévention, le niveau d'expertise du SDIS 06 de l'ENSOSP et du Centre

régional médico-sportif d'Antibes permet d'aborder la problématique posée, de dégager des constats et propositions utiles à la démarche de sécurité opérationnelle.

Cette démarche nécessite une approche collaborative et la création d'un groupe de travail pluridisciplinaire, associant des personnels représentatifs de l'ensemble du corps départemental (intervenants, cadres du SSSM et de groupement).

Partenariat :

- Le Service d'incendie et secours des Alpes-Maritimes.
- Le Centre régional médico-sportif d'Antibes.
- L'Ecole nationale supérieure des officiers de sapeurs-pompiers.

Groupe de travail :

- Le Capitaine Sylvain ROGISSART chef de projet
- Le Médecin Lieutenant-colonel Jean-Marie STEVE
- Le Médecin Lieutenant-colonel Christian RIELLO
- Le Commandant Claire BERENGER
- Le Médecin Capitaine Jean-François PANTALONI
- Le Lieutenant Xavier WIIK
- L'Adjudant Jean-Marie HOLDRINET
- Le Sergent Frédéric RONZIER
- Le Sergent Olivier GHIGO
- Le Sergent Florian MOLINA
- Le Sergent Christophe FABRI
- Le Caporal César SEBRIER
- Le Caporal Rémi BONHOMME

1-1 Problématique

Les sapeurs-pompiers sont exposés, dans le cadre de leurs missions, de manière aléatoire, à une multitude de situations hostiles qui génèrent des risques pour leur santé et leur intégrité physique.

Afin d'assurer la sécurité individuelle et collective, les sapeurs-pompiers utilisent des équipements de protection individuelle.

Hormis les accidents thermiques, comme le flash-over désormais bien connu et pris en compte, tant sur le plan de la protection individuelle que sur le plan de la technique opérationnelle, les contraintes ou accidents physiologiques dû à l'hyperthermie, au coup de chaleur à l'exercice, pourraient représenter une fréquence plus élevée.

En effet, dans le cadre de cette utilisation réglementaire, les intervenants sont soumis à des contraintes physiologiques majeures, liées au port des équipements de protection individuelle. Ceci, associé à la mise en œuvre des techniques professionnelles adaptées aux risques, engendre des coûts énergétiques et des variations physiologiques importantes.

La majeure partie des interventions se réalise dans un domaine physiologique et énergétique, acceptable pour les intervenants, limitant l'épuisement, permettant une récupération rapide, ainsi que l'enchaînement raisonnable des missions durant une période de garde.

La problématique se pose sérieusement dans le cadre des feux en espace clos ou semi-clos, des feux de forêts, lors d'expositions des personnels en ambiance chaude et prolongée, associée à un effort physique, élevé et continu. De nombreuses remontées d'informations, suite à des interventions de ce type, ont indiqué différentes contraintes physiologiques d'intervenants.

Dans ce contexte opérationnel particulier, le commandant des opérations de secours, ainsi que le service de santé et de secours médical, doivent prendre en compte et gérer le soutien sanitaire et médical des intervenants, dont ils ont la responsabilité.

La présente étude commandée par le SDIS 06, traitera des contraintes physiologiques, et du travail en ambiance chaude, associés au port des nouveaux EPI de ce SDIS, ainsi que d'une réflexion sur le soutien sanitaire opérationnel.



1-2 Travail et exercice en ambiance chaude :

Il est important de présenter de manière synthétique le contexte et les conséquences du travail et de l'exercice en ambiance chaude, correspondant à des situations opérationnelles hostiles fréquentes, vécues par les intervenants.

1.2.1 Les mécanismes thermorégulateurs (licence GCP SH 2008) CE :

L'homme est un homéotherme qui doit maintenir sa température centrale à peu près constante. Lors de l'exercice musculaire, en cas de maladie ou dans des conditions environnementales extrêmes, la température centrale s'écarte des normes situées entre 36,1°C et 37,8°C.

La température centrale reflète l'équilibre entre les gains et les pertes de chaleur. Dès que cet équilibre est perturbé, la température centrale est modifiée.

Les tissus métaboliques produisent de la chaleur, laquelle peut être utilisée pour maintenir la température centrale constante.

Pour qu'il y ait une température centrale constante, il faut un équilibre entre les gains de chaleur en provenance du métabolisme ou de l'environnement et les pertes liées aux échanges avec l'ambiance.

1.2.3 Les moyens de transfert de chaleur entre le corps et l'environnement (licence GCP SH 2008) CE :

La chaleur produite par le corps est amenée par le sang à la périphérie, jusqu'à la peau. C'est par la peau que s'effectuent les transferts de chaleur entre les organes profonds et l'extérieur.

● Quatre facteurs physiques y participent :

- 1) La conduction
- 2) La convection
- 3) La radiation
- 4) L'évaporation

● Les échanges par conduction :

Ce sont les transferts de chaleur par contact entre deux corps. Lorsqu'un tissu produit de la chaleur, il peut la transférer à un autre tissu adjacent et ainsi gagner les tissus périphériques, comme les muscles par exemple.

● Les échanges par convection :

La convection implique des échanges d'énergie par le moyen d'un gaz ou d'un liquide. Par exemple, le vent ou l'eau transporte des molécules qui provoquent, au contact de la peau, des échanges d'énergie.

Il faut savoir que dans l'air, plus froid que la peau, les échanges d'énergie ne constituent que 10% à 20% de pertes de chaleur. Mais si le corps est immergé dans de l'eau froide, les pertes de chaleur sont à peu près 26 fois plus importantes que dans l'air à même température.

● Les échanges par radiation :

Le repos est le premier moyen utilisé par l'organisme pour perdre de la chaleur. Le corps nu perd 60% de sa chaleur dans une ambiance normale (21°C à 25°C).

Le corps émet un rayonnement dans toutes les directions qui irradie les objets qui l'entourent comme les vêtements, les murs, les meubles par exemple, mais reçoit également les rayons émis par ces objets. Si leur température est supérieure à celle de la peau, le résultat en sera un gain de chaleur. L'exposition à un feu de grande ampleur entraîne une forte augmentation de la température corporelle par radiation.

● Les échanges par évaporation :

C'est le moyen privilégié de perte de chaleur chez l'homme, en particulier durant l'exercice. La perte par évaporation représente près de 80% des pertes de chaleur totales lors d'un exercice. L'évaporation comprend les pertes provoquées par la perspiration mais aussi la respiration.

Lorsque la température corporelle augmente, la production de sueur augmente. C'est l'hypothalamus qui met en jeu les glandes sudoripares, leur commandant de sécréter la sueur. A la surface de la peau, la sueur s'évapore sous l'effet de la chaleur cutanée. Il y a donc transfert de chaleur de la peau à l'environnement.

Remarque :

L'évaporation sudorale entraîne un rafraîchissement de la peau. Mais la sueur qui ruisselle n'a aucun effet thermorégulateur.

Plus l'humidité de l'air est importante, plus l'évaporation sudoripare est perturbée.

Ces 4 facteurs physiques d'échanges de chaleur concourent ensemble à assurer la stabilité de la température centrale.

1.2.4 Le coup de chaleur à l'exercice (JP CARPENTIER - René SABY 2007)

Il n'y a pas actuellement de veille épidémiologique du coup de chaleur à l'exercice chez les sapeurs-pompiers, alors même que le travail et l'exercice en ambiance chaude sont fréquent dans le cadre de nos missions.

En milieu militaire, une surveillance épidémiologique est en place depuis

1989 et a permis une prise en compte de cette pathologie au sein des forces armées en ce qui concerne la compréhension des mécanismes, la prise en charge et surtout la prévention.

En dehors de la température ambiante qui lorsqu'elle dépasse 20°C, devient un facteur favorisant, un degré d'hygrométrie supérieur à 75% et l'absence de vent sont des facteurs essentiels dans la survenue des CCE, en diminuant la capacité de sudation et d'évaporation. La tenue vestimentaire peut entraver les échanges thermiques.

Les tenues de combat, par exemple chez les militaires, imprégnées de produit imperméabilisant, constituent de véritables pièges thermiques. Le port d'un équipement, souvent lourd, majore le travail musculaire.

Une dette hydrique avant et pendant l'effort est rapportée chez plus de 50% des victimes.

Le contexte militaire du coup de chaleur à l'exercice, peut-être en partie comparable à celui des sapeurs-pompiers.

Les équipements de protection individuelle, en plus des charges lourdes portées par les intervenants (minimum 24 kg) dans les conditions opérationnelles difficiles, tels que les feux en espaces clos ou semi clos, et des durées ou fréquences importantes, favorisent la perturbation de la thermorégulation et le risque de coup de chaleur à l'exercice.

1.2.6 Les effets de l'hyperthermie

L'élévation de la température au niveau cellulaire entraîne un arrêt des divisions cellulaires et une baisse de leur activité mitochondriale. A partir de 42°C, elle compromet la stabilité des protéines, coagule les protéines cytoplasmiques, dénature les systèmes enzymatiques et fluidifie les membranes.

Leur production serait altérée au cours du CCE. Ce rôle propre de l'hyperthermie aurait des conséquences sur le système nerveux central, au niveau hépatique, musculaire (oedème myofibrillaire, myonécrose, rénale, myocardique et sur les mécanismes de la coagulation).

1.2.7 Les ajustements circulatoires (W. Mc ARDLE)

Au cours de l'exercice par temps chaud, l'organisme fait face à deux exigences opposées :

- Le muscle a besoin d'oxygène pour son métabolisme.
- La chaleur métabolique doit être transportée des régions profondes vers la périphérie. Le sang utilisé à cet effet ne peut donc apporter l'oxygène aux muscles actifs.

Le débit cardiaque au cours de l'exercice sous maximal est le même par temps chaud que par temps froid.

Le volume d'éjection systolique est plus faible au cours d'un exercice par temps chaud, il diminue proportionnellement à la perte d'eau, pour compenser, la fréquence cardiaque augmente d'autant plus.

Quand la fréquence cardiaque ne suffit plus à compenser la baisse du volume d'éjection systolique, le débit cardiaque maximal et la VO₂max sont réduits.

1.2.8 Conséquence de la déshydratation par temps chaud

A mesure que la déshydratation s'installe et que le volume plasmatique diminue, la sudation baisse et la thermorégulation devient de plus en plus difficile.

Comparativement à une situation d'hydratation normale, une déshydratation correspondant à 5% de la masse corporelle entraîne une augmentation de la fréquence, ainsi qu'une réduction marquée de la sudation et du VO₂max.

Selon les observations de W. MCARDEL, des sujets déshydratés jusqu'à 4,3% de leur masse corporelle ont présenté 48% de moins d'endurance à la marche ; leur VO₂max était réduit de 22%. De plus, ils ont observé une diminution de VO₂max de 10% quand le niveau de déshydratation ne représentait que 1,9% de la masse corporelle.

Tous les facteurs qui participent au déséquilibre du bilan thermique, soit en accroissant les gains, soit en réduisant les pertes, vont concourir au déterminisme du CCE. C'est ainsi que divers réflexes liés à l'exercice peuvent interférer avec la fonction des effecteurs et modifier les seuils de réponse sans finalité thermorégulatrice.

C'est le cas des adaptations cardiovasculaires. Les modifications de la pression artérielle (dette hydrique initiale, jeûne, surcharge en hydrates de carbone) sont susceptibles de modifier les réponses thermiques.

La déshydratation progressive au cours de l'exercice, conséquence principale des pertes sudorales, accroît la température corporelle. Cet effet résulte à la fois de la baisse du volume plasmatique, et surtout de la vasoconstriction périphérique qui entrave le transfert de la chaleur du noyau vers la périphérie.

Les facteurs déterminants du CCE dans le cadre de notre problématique peuvent être appréhendés de la manière suivante :

- **Climat :**

Lié à la température extérieure et au taux d'hygrométrie dans l'air (climat méditerranéen, contexte opérationnel des feux de forêts, et urbains).

- **Niveau d'ambiance chaude opérationnelle :**

Lié à la température émise par les feux en espace clos et semi-clos (feux d'appartement, de caves, de parking, entrepôts...).

● **Intensité de l'effort :**

Lié à l'intensité de l'engagement physique des sapeurs-pompiers, dictée par la typologie et les nécessités de l'intervention (sauvetages, mises en sécurité, dangers extrêmes, mise en œuvre des moyens d'extinction...).

● **Temps de l'effort :**

Lié au temps effectif d'intervention du sapeur-pompier (engagement initial et complémentaire selon la nécessité opérationnelle).

● **Type d'équipement de protection individuelle et de charge emportée :**

Lié au niveau et caractéristique d'équipement de protection individuelle. Principalement, si l'évaporation de la sudation est diminuée, voire même impossible entraînant des perturbations de la thermorégulation de l'intervenant. Il faut également prendre en compte les charges emportées qui accélèrent l'épuisement musculaire.

● **Condition physique de l'intervenant :**

Lié à l'entraînement physique du sapeur-pompier, déterminant son potentiel physique opérationnel dans l'intensité et dans le temps, mais également ses capacités à lutter contre les contraintes physiologiques

II Les tests 1 et 2 de Vo2max en tenue allégée et avec EPI au CRMS

Le but est d'estimer l'aptitude physique individuelle de six sapeurs-pompiers du SDIS 06, issu de chaque groupement territorial, à l'aide d'une épreuve d'exercice musculaire maximale, de type triangulaire par palier progressivement croissant. Le premier test se réalise en tenue de sport, le second avec les équipements de protection individuelle adaptés aux feux en espace clos.

Ces tests sont réalisés sur tapis roulant, avec mesure des échanges gazeux respiratoires, détermination de la VO2 max, enregistrement de la fréquence cardiaque et analyse de la cinétique des lactates sanguins à l'exercice.

Une analyse comparative des deux tests nous permettra d'évaluer le coût énergétique dû au port des EPI/SDIS06.

| Personnel participant à l'étude EPI/SDIS06/2010 | | | |
|--|-------------|-----|--------------|
| | Affectation | Age | Emploi |
| SP1 | GT SUD | 38 | Opérationnel |
| SP2 | ETAT-MAJOR | 52 | Mixte |
| SP3 | GT OUEST | 39 | Opérationnel |
| SP4 | GT CENTRE | 25 | Opérationnel |
| SP5 | GT EST | 32 | Opérationnel |
| SP6 | GT NORD | 28 | Mixte |

2.1 La puissance maximale aérobie

La consommation d'oxygène augmente proportionnellement à la puissance de l'exercice jusqu'à un plafonnement correspondant à la puissance maximale aérobie. Ainsi, la consommation maximale d'oxygène ou la puissance maximale aérobie sont définies comme « la consommation maximale d'oxygène qu'un individu peut atteindre lors d'un exercice musculaire pratiqué au niveau de la mer en inhalant de l'air atmosphérique, la durée du travail étant de 2 à 6 min suivant la puissance » (Astrand 1977).

Cela montre donc que l'intensité du processus aérobie ne peut dépasser une certaine limite au-delà de laquelle la couverture des besoins énergétiques est assurée à partir des processus anaérobies. Cette Vo₂max, exprimée en litre par minute et en millilitre par minute par kg de poids, est variable selon les individus, leur âge et leur sexe.

L'aptitude d'un individu à fournir un exercice musculaire pendant quelques minutes ou plus, dépend avant tout de sa capacité à prélever et transporter l'oxygène depuis l'atmosphère jusqu'à ses mitochondries. Les processus oxydatifs seuls permettent de puiser dans les grandes réserves d'énergie. Aussi, plus la puissance maximale aérobie sera élevée, plus la libération d'énergie pourra être importante.

Le facteur génétique est un facteur de variabilité de la Vo₂max, car certains posséderont plus d'alvéoles pulmonaires aptes à capter l'oxygène, une capacité supérieure à diffuser cet oxygène à travers la paroi capillaire. Le débit cardiaque maximum fait qu'un individu possédera un métabolisme plus efficace qu'un autre et aura donc un potentiel de Vo₂max accru.

Le poids qui est un élément de l'équation (ml.mn.kg) et les kilos en trop réduisent le niveau de Vo₂max (surcharge pondérale ou EPI).

Le type d'entraînement, le niveau d'activité physique et sportif, l'influence d'une sédentarité, l'hygiène de vie, sont aussi des facteurs de diminution du niveau de Vo₂max.

2.2 L'adaptation à l'exercice musculaire selon le docteur Alain TOR

C'est la capacité de l'organisme à apporter une réponse physiologique au problème posé, par une modification de son milieu intérieur et/ou de son environnement, sans perturbation de ses constances internes, c'est-à-dire de son homéostasie. Les adaptations de l'organisme sont de type :

- Métabolique
- Respiratoire
- Cardiaque
- Vasculaire
- Nutritionnelle

2.3 Description de l'épreuve d'exercice musculaire n°1 effectuée au CRMS

L'épreuve d'exercice musculaire permet l'exploration intégrée des fonctions pneumo-cardio-musculaires dans des conditions où l'organisme doit faire appel à ses réserves.

Indication des tests d'exercice musculaire au CRMS d'Antibes :

- Evaluation des aptitudes physiques du sportif, suivi de l'entraînement
- Prescription individualisée de l'entraînement du sportif
- Reprise de l'entraînement après arrêt pour blessures
- Evaluation des aptitudes professionnelles
- Diagnostic d'une pathologie (cœur, poumons, dyspnée, asthme post exercice)
- Prescription du réentraînement du patient cardiaque ou respiratoire.

Durée du test :

Le temps opportun d'exercice est entre 10 et 20 minutes.

Plus de 8 minutes pour mettre en jeu les différents systèmes ventilatoire, cardiaque, musculaire et vaincre les différentes inerties.

Moins de 20 minutes, pour éviter l'interférence des phénomènes d'épuisement sur les paramètres à mesurer. La Société Française de Médecine du Sport précise que toute épreuve d'effort d'une durée supérieure à 20 minutes n'est pas reproductible en terme de VO₂max.

Durée des paliers de vitesse de l'exercice :

La durée des paliers est de 2 à 3 minutes, c'est le temps minimum pour obtenir des états stables et pour faire des dosages de lactatémie.

Les paramètres mesurés en laboratoire:

- Le volume maximal aérobie si visualisation d'un plateau quand il est atteint (test maximal). S'il n'y a pas d'obtention des critères de maximalité, on parle de pic de VO₂ (test sous maximal).
- Les seuils ventilatoires et lactiques, par la recherche d'une rupture dans les régimes ventilatoires et dans la cinétique des lactates sanguins.
- Le coût énergétique.
- La fréquence.
- Le profil tensionnel.
- Le tracé électrocardiographique.
- La relation individuelle VO₂-FC qui pourra être utilisée secondairement sur le terrain pour la détermination indirecte du coût énergétique.

Critères de maximalité de l'épreuve d'effort :

- Plateau de VO₂ (VO₂ max)
- Quotient respiratoire > 1.1 (QR= VCo₂ /Vo₂)

- Acidose métabolique ($\text{PH} < 7,35$)
- Augmentation entre 2 paliers, inférieure à 150 ml d'O₂/mn
- Lactatémie maximale > 8 mmol/l

Les seuils ventilatoires :

Le test permet également de déterminer les seuils ventilatoires (indices importants).

La méthode de « Wasserman », est basée sur les équivalents respiratoires en oxygène (VE/VO_2) et en dioxyde de carbone (VE/VCO_2). Ces derniers sont en rapport de la ventilation (l/mn) sur la quantité d'O₂ ou de CO₂ échangée (l/mn).

Le premier seuil, SV1, première rupture de la courbe de ventilation, appelé seuil de transition aérobie anaérobie ou seuil d'adaptation ventilatoire, est déterminé principalement par l'élévation du rapport VE/VO_2 sans augmentation concomitante du rapport VE/VCO_2 , rupture de la linéarité de la relation VO_2/VCO_2 . Il peut servir de référence au travail de l'endurance et pour réadapter certains malades (insuffisants cardiaques, diabétiques, asthmatiques).

Le second seuil, SV2, deuxième rupture de la courbe de ventilation, appelé seuil d'inadaptation ou de désadaptation ventilatoire ou seuil de décompensation de l'acidose métabolique, est associé à l'élévation du rapport VE/VCO_2 . Ce seuil met en évidence qu'à partir d'une certaine intensité d'effort, l'organisme n'est plus capable de tamponner les protons produits.

Les seuils lactiques :

La concentration sanguine est assez simple à déterminer, cela permet une analyse cinétique à l'exercice.

Au repos la concentration est d'1 mmol/l, environ.

Les lactates dosés dans le sang sont un reflet décalé de la production musculaire car leur diffusion demande un certain délai.

Un prélèvement est effectué au repos, à la fin de chaque palier ainsi que 3 minutes après la fin de l'exercice, pour avoir la valeur maximale.

Les seuils lactiques sont représentés par deux cassures dans la cinétique de la lactatémie au cours des tests réalisés au CRMS.

Les seuils lactiques sont représentés par deux cassures dans la cinétique de la lactatémie et seraient en relation avec les seuils ventilatoires.

Le premier seuil (SL1) correspond à une élévation de la lactatémie au dessus de sa valeur de base. Il pourrait correspondre à une concentration sanguine en lactate de 2 mmol/l.

Le second seuil (SL2) ou seuil d'accumulation des lactates se traduit par une élévation exponentielle de la lactatémie. Il pourrait correspondre à une valeur de 4 mmol/l.

2.4 Les tests n°2 de Vo₂max avec EPI au CRMS

Nous avons suivi le même protocole d'évaluation physiologique que le test n°1.



Nous avons choisi un type d'équipement utilisé dans le cadre des feux urbains. C'est une phase importante de l'étude car les EPI révèlent des contraintes où le poids (environ 20 à 24 KG) est fondamental dans les différences observées. On peut considérer cette contrainte comme constante car le sapeur-pompier pour assurer sa sécurité dans ce type d'intervention, doit s'équiper tout le temps de l'exposition au risque.

Tenue : Equipement de protection individuelle

- Casque F1,
- Cagoule en coton
- Gant de protection
- Tee shirt coton et chemise F1
- Veste textile et sur pantalon
- Pantalon F1
- Bottes à lacets
- Appareil respiratoire isolant

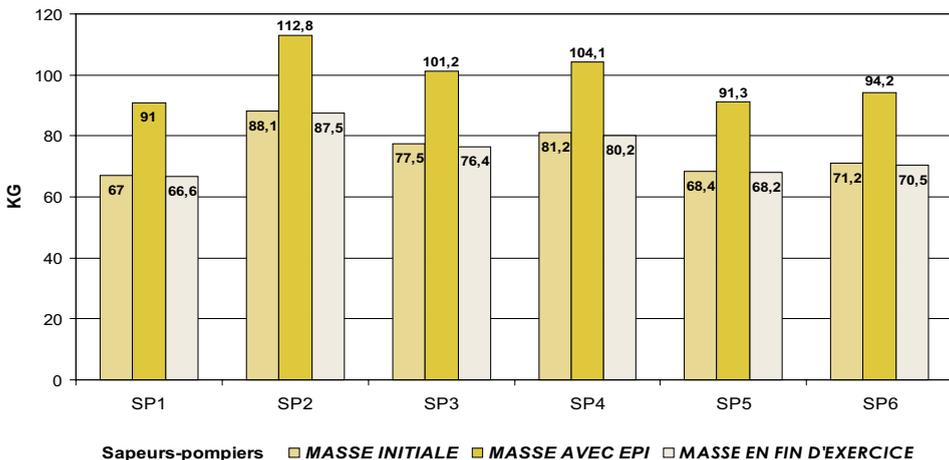
2.5 Analyse des tests n°1 et 2 réalisés au CRMS

Les tableaux de synthèse suivants vont permettre de visualiser les différentes variations physiologiques et énergétiques entre les deux tests d'efforts maximaux, pour chaque sapeur-pompier, réalisés au CRMS d'ANTIBES. Rappelons que nous observons des exercices d'efforts maximaux, et en particulier la fréquence cardiaque, le volume maximum aérobie, ils sont donc relativement courts. Par conséquent la déshydratation reste relative à l'intensité, à la durée de l'exercice, et à la température ambiante du laboratoire, environ 23°C.

La moyenne d'âge des personnels participants à l'étude est de 37,7 ans. Le plus jeune a 28 ans et le plus âgé 52 ans.

Tableau n°1 :

Variations de la masse corporelle



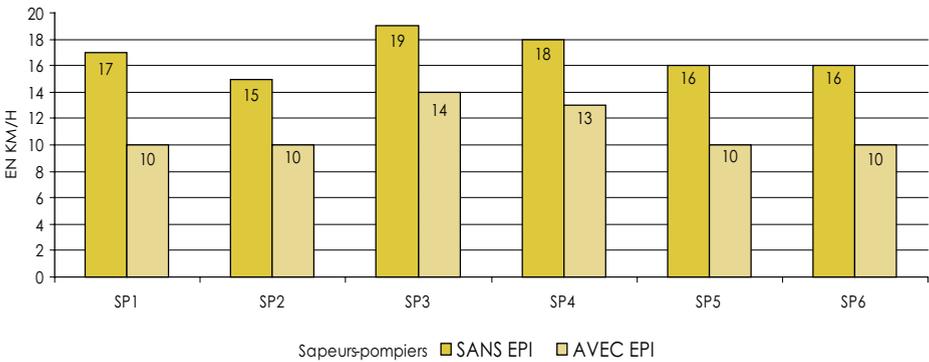
Le poids de chaque sapeur-pompier a été évalué avant et après le test T2/EPI.

La moyenne des évaluations de poids avant l'exercice est de 76,2 Kg, puis après T2, 75,5 Kg. Cela indique une variation négative de 0,7 Kg, relative à un temps moyen d'exercice maximal, atteint en environ 13 minutes. Cela représente en moyenne pour le groupe étudié 0,9 % de perte de poids constituée par la sudation.

Cette perte reste acceptable au regard des observations de W.MCARDEL (niveau de déshydratation < à 1,9% de la masse corporelle).

Tableau n°2 :

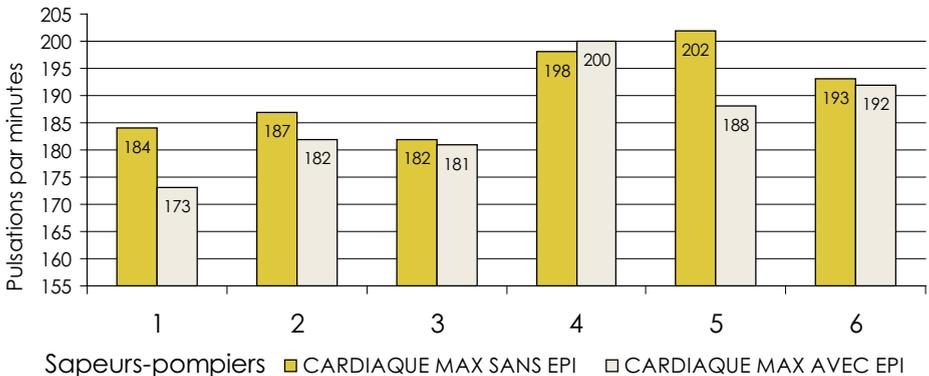
Variations de la vitesse maximale aérobie



La moyenne des vitesses maximales aérobie en tenue de sport est de 16,4 Km/h, contre 10,8 Km/h avec les équipements de protection individuelle. La différence est de 5,6 Km/h soit 34% de VMA en moins. Cela correspond à l'épuisement musculaire lié au port des équipements de protection individuelle (entre 20 et 24Kg), correspondant au coût énergétique.

Tableau n°3 :

Variations de la fréquence cardiaque maximale



On observe que la fréquence cardiaque de repos moyenne du groupe, avant le début de l'exercice présente une différence positive de 7 pulsations par minute avec les équipements de protection individuelle. Cela indique, que la charge portée, même en position de repos, entraîne une activité cardiaque supérieure afin de compenser le coût énergétique.

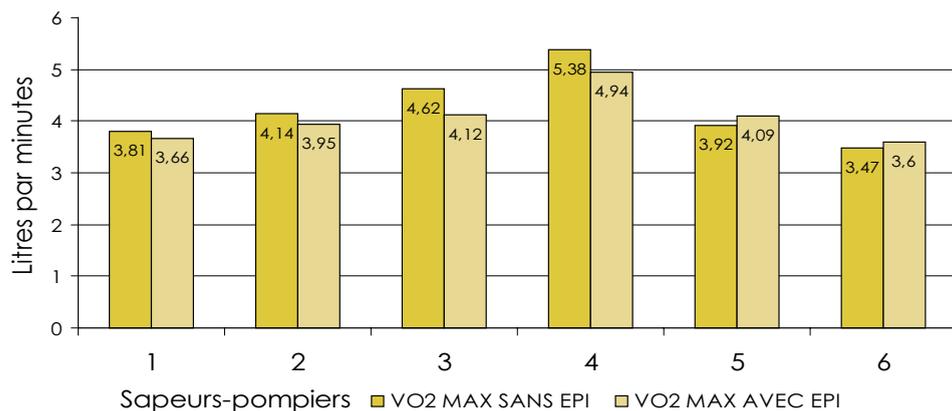
On observe également une augmentation concomitante de la fréquence cardiaque lors des exercices T1 et T2, avec néanmoins des seuils différents liés aux contraintes des EPI, soit en terme de charge, soit en terme de biomécanique et de thermorégulation.

La moyenne des fréquences cardiaques maximales en tenue de sport est de 188,8 pulsations par minute, contre 183,8 pulsations par minute avec les EPI, soit une différence négative de 2,64%.

La moyenne inférieure des pulsations cardiaques avec les EPI sur ce type d'exercice maximal s'explique par l'épuisement musculaire plus rapide, lié à la charge portée, ainsi qu'aux contraintes biomécaniques.

Tableau n°4 :

Variations du volume maximum aérobie

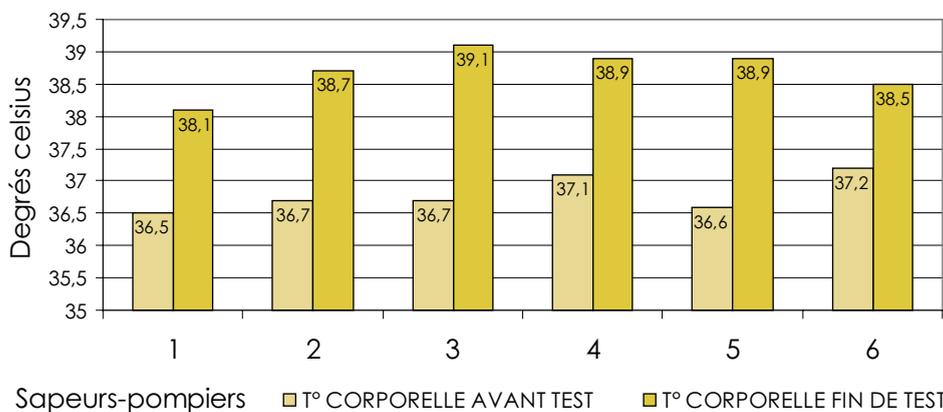


La moyenne des VO2max (Volume d'oxygène maximale utilisé lors de l'effort maximal), est sensiblement identique, 4,18 l/mn pour T1, et 4,07 pour T2, soit une diminution moyenne de 2,63%. Cela montre que les sapeurs-pompiers participant à T1 et T2 ont réalisé un effort maximal sur chaque test.

Cela confirme également que les pertes sudorales relatives n'ont pas altéré de manière prononcée leur VO2max (exercice court car intensité progressive jusqu'aux critères de maximalité).

Tableau n°5 :

Variations de la température corporelle



La moyenne des températures, avant le début de l'exercice maximal T2, est de 36,4°C.

A la fin de l'exercice, la moyenne est de 38,64°C. La variation est positive de 2,24°C, pour l'ensemble des sapeurs-pompiers, soit une augmentation moyenne de 6%.

Néanmoins, par rapport aux températures relevées en fin d'exercice, on constate que les mécanismes de la thermolyse augmentent pour tous les sapeurs-pompiers afin de stabiliser la température centrale de l'organisme jusqu'à 39°C pour le maximum, à l'arrêt de l'exercice.

Les valeurs se trouvent en dessous des risques de modifications des réponses thermiques quand le volume maximum aérobie est atteint par tous les sapeurs-pompiers.

III La simulation opérationnelle sur le plateau technique de l'ENSOSP



La simulation opérationnelle s'est déroulée le 28 juin 2010 sur le plateau technique de l'ENSOSP. Le thème retenu est un feu en espace clos, dans un immeuble en R+4, sous la vigilance d'un officier sécurité de l'ENSOSP, constitué des actions opérationnelles suivantes :

- De la prise de matériel, d'une reconnaissance associée à un sauvetage de victime au 4ème étage d'un immeuble.

- De l'établissement d'une LDV 500, sur division alimentée au RDC.
- De l'extinction d'un feu de chambre au 2ème étage de l'immeuble.
- Du reconditionnement du matériel.

Le temps moyen nécessaire à la réalisation de ces actions est de 34 minutes.

La température extérieure était de 23° à 9 heures et trente minutes.

La température de la pièce variait entre 400°C et 700°C, avec un temps maximum d'exposition de 10 min.

3.1 Analyse des données de la simulation opérationnelle

Nous avons mesuré la fréquence cardiaque de chaque sapeur-pompier, grâce à un cardio-fréquence-mètre placé sous les EPI. Un profil complet des fréquences cardiaques est joint en annexe VIII.

Nous avons également pesé les sapeurs-pompiers avant et après la simulation opérationnelle, afin d'évaluer la perte hydrique.

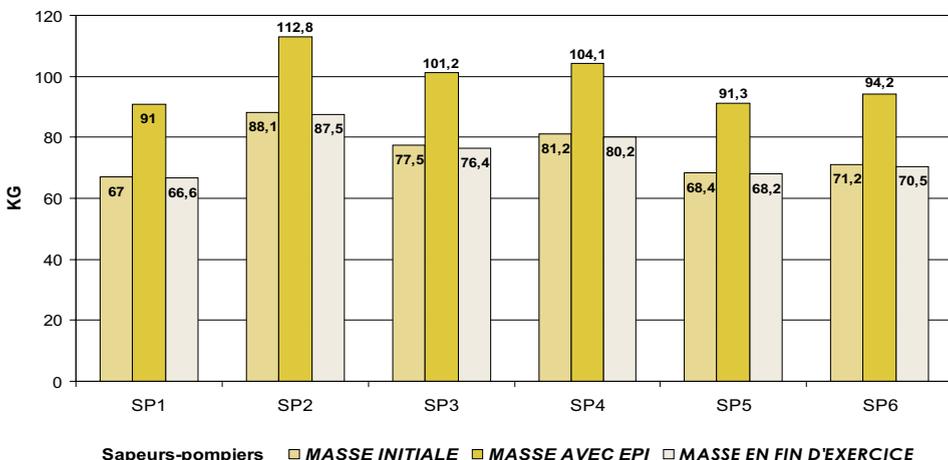
Une prise de température buccale, à l'aide d'un thermomètre électronique à sonde, a été réalisée avant et après la simulation.

Nos critères limites de référence concernant les trois tableaux de données sont les suivants :

- La fréquence cardiaque maximale mesurée au CRMS.
- Déshydratation entre 1,9% et 5% de la masse corporelle (W.MCARDEL).
- Entre 40° et 42° concernant la température corporelle.

Tableau n°1 :

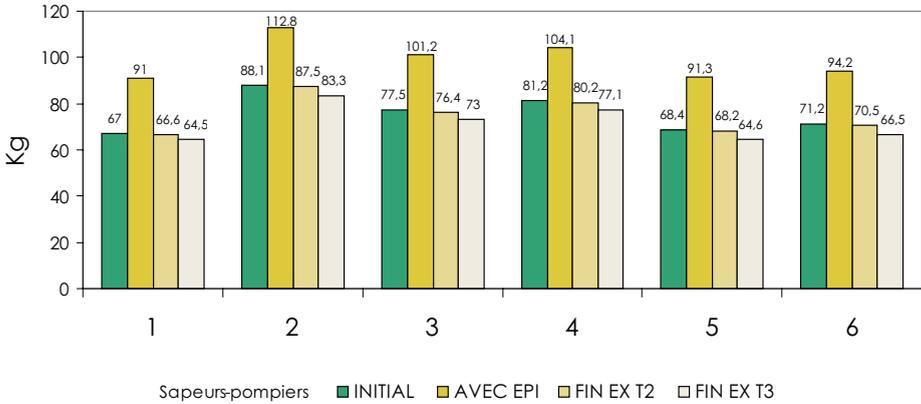
Variations de la masse corporelle



Lors de la simulation opérationnelle, les sapeurs-pompiers ont travaillé en dessous de leur fréquence cardiaque maximale. La moyenne des fréquences maximales du groupe représente 94,8% des fréquences moyennes maximales atteintes à leur Vo2max en laboratoire (T1) et la moyenne des fréquences cardiaques moyennes 79%. Les intervenants ont travaillé au dessus de leur seuil aérobie.

Tableau n°2 :

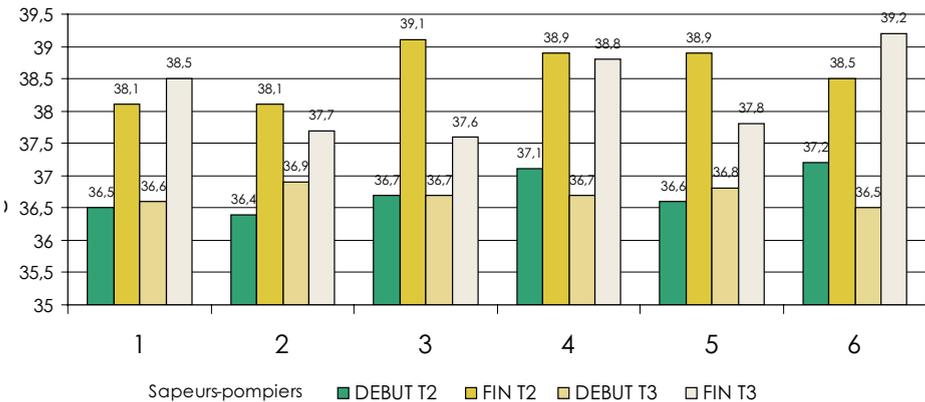
Variations de la masse corporelle



Lors de la simulation opérationnelle, les sapeurs-pompiers ont présenté une variation moyenne négative de leur masse corporelle de 5 % par rapport à celle évaluée au départ. Cette variation s'explique par la perte hydrique due à la sudation des mécanismes de la thermorégulation, en rapport à l'effort fourni, et l'exposition à l'ambiance chaude. Cette donnée se situe entre 1,9 et 5%.

Tableau n°3 :

Variations des températures corporelles



Lors de la simulation opérationnelle les sapeurs-pompiers ont présenté une variation moyenne positive de 3,9 % par rapport à celle de départ.

Le faible écart constaté, par rapport aux températures relevées au tests T2 avec EPI au CRMS, peut s'expliquer par une perte hydrique plus importante mise en œuvre par les mécanismes de la thermorégulation.

En effet, « Tout effort physique intense et prolongé accroît la thermogénèse et s'accompagne d'une élévation modérée de la température centrale.

En réponse à cet accroissement de la thermogénèse, les mécanismes de la thermolyse se majorent et ainsi la température centrale va se stabiliser, selon les individus et l'effort fourni, entre 38 et 39°C.

La simulation s'est déroulée sur le plan physiologique au stade d'un accroissement de la thermogénèse, avec majoration des mécanismes de la thermolyse pour l'ensemble des sapeurs-pompiers en 34 minutes d'effort.

Si l'exercice avait été prolongé dans les mêmes conditions d'effort en ambiance chaude (assez courant en intervention), l'on aurait certainement constaté la suite du mécanisme scientifiquement déjà observé par W.MCARDELE.

Ainsi, la perte hydrique liée au débit sudoral important, nécessaire à la thermorégulation, aurait diminuée par épuisement des réserves.

De ce fait, la température corporelle aurait continué à augmenter (+ de 40°C) jusqu'à l'hyperthermie, pouvant conduire à un coup de chaleur à l'exercice, conduisant à un état pathologique nécessitant une prise en charge médicale.

Il faut prendre en compte le port des équipements individuels (veste et sur pantalon) qui enveloppent les sapeurs-pompiers lors de la simulation.

La chaleur produite par l'effort physique de l'intervenant est transférée vers la peau. Elle est éliminée surtout par évaporation de la sueur, par radiation et convection si l'environnement thermique le permet (air faiblement humide, vent, ambiance fraîche).

Lors de la simulation, la veste et le sur pantalon ne permettent pas forcément une bonne évaporation de la sueur, et l'environnement thermique d'un feu en espace clos ou semi clos ne permet pas du tout d'éliminer la sueur par effet de radiation et de convection.

Ce qui pourrait également expliquer les contraintes de la thermorégulation des intervenants.

3.2 Propositions d'optimisation

Après avoir évalué les contraintes physiologiques propres à la présente étude, il apparaît nécessaire d'organiser le soutien sanitaire des intervenants d'une manière plus précise, en améliorant celui déjà existant.

La sécurité des sapeurs-pompiers est une démarche globale, analytique, adaptée aux différents services d'incendie et de secours.

Elle ne s'improvise pas, elle s'anticipe et s'organise au quotidien.

Concernant notre Corps départemental, il est possible de proposer la méthode suivante, reposant sur trois concepts complémentaires et interdépendants :

- La prévention physiologique.
- Le soutien sanitaire opérationnel.
- Le retour d'expérience du soutien sanitaire opérationnel.

3.3 La prévention physiologique

La prévention physiologique est l'une des premières actions préparatoires à la mise en œuvre des missions d'incendie et de secours.

C'est un facteur déterminant d'efficacité et de sécurité en intervention pour les sapeurs-pompiers.

3.3.1 Le suivi médico-physiologique des sapeurs-pompiers

Dans le cadre des actions réalisées par le SSSM (arrêté du 6 mai 2000), le groupement de santé au travail du SDIS 06 a, depuis 2 ans, innové avec le CRMS une démarche de suivi physiologique précise et adaptée aux personnels de l'établissement et dégagé plusieurs objectifs :

- Surveiller la santé des sapeurs-pompiers.
- Evaluer le potentiel physique et les caractéristiques physiologiques de chaque sapeur-pompier.
- Orienter et optimiser la préparation physique générale et spécifique des intervenants.
- Assurer une action de prévention en agissant sur des facteurs essentiels de bonne tolérance des lourdes charges de travail quotidien, de formation et d'intervention, une meilleure récupération, une diminution des blessures d'origine métabolique, la longévité de la carrière.
- Amélioration des qualités aérobies pour une meilleure réponse au coût énergétique élevé et répété des interventions et activités de garde.
- Réalisation d'entraînements physiques dans des conditions métaboliques plus confortables pour l'organisme, favorisant aussi le développement des qualités biomécaniques.
- Une meilleure récupération par paiement accéléré de la dette d'oxygène.
- Une diminution de la souffrance tissulaire pouvant favoriser directement la pathologie traumatique.

La démarche du SSSM du SDIS 06, avec le CRMS d'Antibes, a montré son efficacité dans le suivi médicophysologique des sapeurs-pompiers du Corps départemental.

3.3.2 L'entraînement physique

L'entraînement physique des sapeurs-pompiers (décret du 31 décembre 2001) s'intègre dans une démarche globale d'acquisition et d'entretien d'une condition physique, indispensable au bon accomplissement des missions d'incendie et de secours (principe de l'exigence physiologique opérationnelle) qui accompagne le sapeur-pompier, dès son recrutement jusqu'à la fin de sa carrière.

C'est une action de prévention physiologique.

L'entraînement physique a pour but, de faciliter le travail et la santé des sapeurs-pompiers soumis au port des équipements de protection individuelle et de mieux supporter la charge supplémentaire appliquée entraînant un coût énergétique (force, endurance de force, VO₂max).

L'entraînement a pour but, d'autre part, de mieux tolérer la chaleur en augmentant l'efficacité de la thermorégulation, et ainsi de mieux supporter le stress thermique.

L'entraînement physique devrait donc s'orienter vers le développement des seuils anaérobie, augmentant de fait le seuil aérobie.

L'entraînement physique devrait s'orienter également vers la gestion et la prévention des risques traumatiques liés à sa mise œuvre, ainsi que la prise en compte du retour post traumatique des sapeurs-pompiers.

Le contenu, les volumes et le rythme des séquences d'entraînement, devraient prendre en compte les autres activités à dominante physique menées parallèlement durant la formation et les interventions pendant le temps de garde, ainsi que l'âge et le niveau de condition physique des personnels.

L'hygiène de vie est également un facteur positif, contribuant à la préparation aux interventions contraignantes.

Il est important de boire de l'eau régulièrement et ce en quantité suffisante, afin de constituer des réserves hydriques, également pendant et après l'effort.

3.3. 3 Le soutien sanitaire opérationnel

Le soutien sanitaire est une composante réglementaire indispensable à la sécurité des sapeurs-pompiers, lors des opérations d'incendie et de secours, dont l'essentiel de la doctrine reste encore à construire sur le plan national.

Néanmoins, il est possible de proposer un concept pouvant s'intégrer à la gestion opérationnelle et au commandement de notre Corps départemental.

Pour cela, il est nécessaire de mettre en œuvre une démarche commune et continue, entre le SSSM et la chaîne de commandement, sous l'autorité du médecin-chef et du directeur départemental.

Cette proposition d'organisation opérationnelle voit apparaître la fonction « d'officier soutien opérationnel » (annexe V, transmise au groupe de travail sur la chaîne de commandement août 2010), qui vient appuyer la fonction médicale du soutien sanitaire, et s'intégrer dans l'Ordre Complémentaire de Transmission, sous la responsabilité du commandant des opérations de secours.

La notion de sécurité en intervention est l'affaire de tous, elle concerne l'ensemble de la chaîne de commandement, en partant du chef d'agrès jusqu'au chef de site.

La proposition suivante est constituée de manière à préciser les modalités de soutien sanitaire selon chaque niveau d'emploi opérationnel.

3.3.4 Le soutien sanitaire opérationnel de niveau 1

Le soutien sanitaire de niveau 1, concerne les chefs d'agrès et de groupe, avec ou sans présence d'un VLM (réalisé d'une base de travail du lieutenant X.WIK).

La gestion opérationnelle et le commandement de ce niveau n'excluent pas la prise en compte du soutien sanitaire, car la vigilance et le reconditionnement humain se préparent, dès le début d'une intervention.

A ce niveau du soutien sanitaire, le principe est d'équiper tous les engins pompes de deux bouteilles d'eau de 1,5 litres par personne, ce qui implique une nouvelle logistique hydrique opérationnelle :

- Créer un stockage par CIS selon le nombre d'engins pompes.
- Intégrer, à la vérification journalière du matériel, les bouteilles d'eau.
- Assurer le suivi logistique hydrique opérationnel selon les besoins.
- Disposer d'une bâche d'environ 16 M² (4 par 4) et de 4 cônes signalétiques.
- Disposer de caisses ou glacières pour stocker correctement les bouteilles.

Ce niveau opérationnel ne nécessite pas de poste de commandement.

Le C.O.S. (chef d'agrès ou chef de groupe) décide de la mise en place d'une zone de soutien opérationnel de niveau 1, à partir du moment où les actions prioritaires ont été mises en œuvre (sauvetage, reconnaissance, attaque) et qu'il estime que le personnel est soumis à des conditions de travail difficiles.

La zone doit se situer à l'écart du sinistre, être délimitée au sol par le déploiement de la bâche et de 4 cônes de signalisation à chaque angle.

Les agents auront la possibilité d'ouvrir totalement leur veste et leur sur pantalon (en fonction des conditions climatiques), de retirer leur casque, d'adopter une posture de repos (Cf. Annexe I), de s'alimenter et de se réhydrater en fonction de leur état, sous la vigilance du médecin et de l'infirmier affectés à la VLM, hors secours médical ou soins d'urgence.

3.3.5 Le soutien sanitaire opérationnel de niveau 2

Ce niveau opérationnel nécessite un poste de commandement de niveau colonne ou site selon la montée en puissance de l'intervention.

Le chef de colonne peut être engagé sur demande d'un chef de groupe. Dans ce cas, si un soutien opérationnel de niveau 1 est déjà activé, le chef de colonne peut soit le maintenir, soit le faire évoluer vers un niveau 2.

Le chef de colonne, devant sectoriser l'intervention et mettre en place l'ordre complémentaire de transmission (annexe VI), peut si nécessaire, demander l'activation de l'officier soutien opérationnel (OFF/SO), selon l'exposition et le niveau de contraintes physiologiques des intervenants. Cela entraîne l'activation des moyens logistiques complémentaires suivants :

- L'officier soutien opérationnel (annexe V).
- Un véhicule de soutien opérationnel (VSO), type AMI06, ou nouvelle dotation, armé par un conducteur, un équipier, un officier soutien opérationnel.
- La logistique hydrique opérationnelle départementale.

Le chef de colonne crée alors un secteur sanitaire, sous la responsabilité d'un chef de groupe ou de colonne, comprenant :

- Un sous-secteur « secours médical et soins d'urgence ».
- Un sous-secteur « soutien opérationnel ».

Le C.O.S. (chef de colonne ou de site) décide de la mise en place d'une zone de soutien opérationnel de niveau 2, à partir du moment où les actions prioritaires ont été mises en œuvre (sauvetage, reconnaissance, attaque) et qu'il estime que le personnel est soumis à des conditions de travail difficiles.

La zone doit se situer à l'écart du sinistre, être délimitée au sol par le déploiement de la bâche et de 4 cônes de signalisation à chaque angle.

Les agents, armant le véhicule de soutien opérationnel, assurent la mise en place et aideront l'officier soutien opérationnel désigné pour le suivi de cette zone. Celui-ci disposera d'un canal tactique de niveau $\frac{3}{4}$. Le dispositif sera considéré comme un sous-secteur à part entière, en liaison directe avec le chef de secteur sanitaire.

Le lot logistique y sera disposé au centre, afin que tous les agents puissent en bénéficier lorsqu'ils seront mis au repos. Le brumisateur sera disposé sur une partie de la zone afin que les agents ne souhaitant pas en bénéficier en soient préservés.

L'accès à cette zone, comme la sortie, se fait sur ordre de l'officier soutien opérationnel (annexe IV), après validation par le médecin ou l'infirmier, en accord avec le chef de secteur sanitaire, en fonction des besoins opérationnels demandés par le COS.

Les agents auront la possibilité d'ouvrir totalement leur veste (en fonction des conditions climatiques), de retirer leur casque, d'adopter une posture de repos (Cf. Annexe I et III), d'utiliser les chaises et le brumisateurs mis à leur disposition, de s'alimenter et se réhydrater en fonction de leur état.

La fiche de poste de l'officier soutien opérationnel (annexe V) permet de poser clairement ses attributions en complément de l'action médicale du médecin et de l'infirmier engagés dans le dispositif de commandement, dont l'arbre décisionnel élaboré par le Médecin François PANTALONI (annexe V) précise le protocole.

Le rôle de l'officier soutien opérationnel s'inscrit pleinement dans le concept de l'officier sécurité, avec une action de sécurité physiologique, en veillant aux procédures d'engagement des binômes.

Dans la continuité de la montée en puissance de la chaîne de commandement, le chef de site, s'il devient le COS, peut également intégrer la fonction DSM du chantier, en continuant l'animation du secteur sanitaire et du sous-secteur soutien opérationnel.

3.3.6 Le retour d'expérience du soutien sanitaire opérationnel

Le retour d'expérience dans le domaine des contraintes physiologiques opérationnelles est fondamental si l'on veut adapter un dispositif de soutien sanitaire efficace.

Il est important de proposer une procédure d'information hiérarchique fiable, objective, afin d'établir des constats clairs et constructifs.

Ces informations traitées et analysées peuvent être utilisées dans le cadre de la prévention physiologique et le soutien opérationnel, créant ainsi un système interdépendant efficace.

Ces informations permettent également d'assurer le suivi physiologique individuel d'intervenants ayant subi un problème physiologique, des brûlures, ou tout autre incident, lors d'une opération d'incendie et de secours.

Pour cela, il est important que le COS, ayant été informé de ce type d'incident, transmette l'information au CTA compétent, en tant qu'**information physiologique opérationnelle primaire**.

Le CTA compétent transmet ensuite l'information au chef de groupement concerné et au CODIS, sous forme d'une fiche type.

Au niveau du CODIS, l'information pourrait suivre le cheminement suivant, en tant qu'**information physiologique opérationnelle secondaire** :

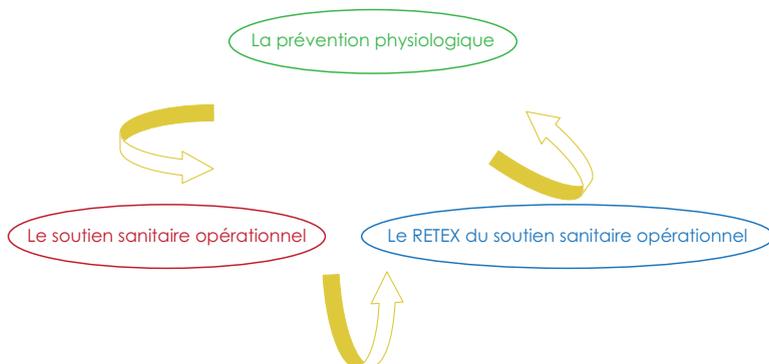
- Infirmier cadre.
- Médecin cadre.
- Directeur de permanence.

Puis en tant qu'**information physiologique opérationnelle tertiaire** :

- Mission CHS.
- Groupement de la santé au travail.

Le niveau d'information tertiaire serait un niveau de traitement et de répertoriation. Il pourrait être constitué, si besoin, d'un groupe « RETEX/EPI » pluridisciplinaire pour analyser des informations sanitaires opérationnelles particulières, afin de proposer des mesures correctives opérationnelles éventuelles.

L'ensemble forme alors une boucle d'informations opérationnelles physiologiques, et sanitaires, interdépendantes et proactives.



L'information du retour d'expérience, une fois traitée, peut contribuer à améliorer la prévention physiologique et, de ce fait, renforcer l'efficacité du soutien sanitaire opérationnel.

Il est à noter que depuis 2009, la nouvelle dotation des EPI du SDIS 06, a fait l'objet de différentes remontées de terrain, concernant des adaptations physiologiques perturbées et de sudation importantes et rapides.

En effet, l'évolution technique des textiles constituant les EPI a pour objectif de « créer une barrière thermique pour prévenir les brûlures », tel que l'indique le fabricant, « le concept du vêtement de protection est basé sur l'application de plusieurs couches ».

Ce concept protecteur efficace, veste et sur pantalon, enveloppe les sapeurs-pompiers qui, lors d'interventions en ambiance chaude mettent en œuvre leur système thermorégulateur.

La chaleur produite par l'effort physique de l'intervenant est transférée

vers la peau. Elle est éliminée surtout par évaporation de la sueur, par radiation et convection si l'environnement thermique le permet (air faiblement humide, vent, ambiance fraîche).

En intervention, la veste et le sur pantalon ne permettent pas forcément une bonne évaporation de la sueur, et l'environnement thermique d'un feu en espace clos, ou semi clos, ne permet pas du tout d'éliminer la sueur par effet de radiation et de convection.

De plus, les intervenants ont tendance à s'approcher de plus en plus près des foyers d'incendies, ainsi que des zones chaudes, car les capteurs sensoriels cutanés de la chaleur sont en grande partie inhibés par les vêtements protecteurs.

Il a été relevé, à plusieurs reprises, des brûlures et rougeurs cutanées au niveau du visage, autour des masques d'ARI et des cagoules, ainsi que des altérations mécaniques au niveau des visières et des faces des casques F1. Cela indique un travail en ambiance chaude trop élevée, et la mise en évidence de zones corporelles plus sensibles, que les jambes, le tronc et les bras, mieux protégés avec les nouveaux EPI.

A partir de ce constat, il convient de réagir et d'adapter la prise en compte de la problématique. Elle peut être abordée sur le plan humain, en adaptant la gestion de l'engagement opérationnel selon les caractéristiques des nouveaux EPI (régulation des expositions thermiques). Aussi, nous avons évalué des variations physiologiques significatives lors de la simulation opérationnelle en un temps moyen de 34 minutes, correspondant à l'autonomie pratiquement maximum des appareils respiratoires isolants, des sapeurs-pompiers testés. Cela peut-être un repère dans le cadre d'un engagement initial et complémentaire, pour le commandant des opérations de secours et les personnels du soutien sanitaire, lors d'un travail en ambiance chaude.

La problématique peut être également abordée sur le plan technique, en utilisant par exemple une caméra thermique afin de renseigner directement les personnels travaillant en ambiance chaude.

L'une ou l'autre des solutions présente des avantages et des inconvénients. Une étude plus approfondie sur le sujet permettrait d'identifier le choix le plus adapté.

3.3.7 Synthèse

Cette étude professionnelle nous a permis d'aborder un thème majeur des missions d'incendie et de secours, où l'homme se situe au centre de la problématique des contraintes physiologiques.

Nous avons proposé des exercices physiologiques sécurisés, en gérant les limites physiques des sapeurs-pompiers volontaires pour l'étude.

Les observations ont montré les différentes cinétiques d'efforts des intervenants pouvant être réalisées de manière courante.

Néanmoins, il est important de rappeler que la simulation opérationnelle que nous avons choisie ne remplace pas les conditions physiologiques réelles d'intervention, qui restent difficilement reproductibles, et selon certains sinistres, particulièrement extrêmes.

Il n'en reste pas moins que la réponse la plus efficace face à la question de la sécurité des intervenants, n'est pas unique. Elle peut-être organisationnelle, technique ou humaine.

Réponse organisationnelle :

C'est la prévention physiologique, l'organisation du soutien sanitaire, et du retour d'expérience opérationnelle, la formation, et l'information aux nouvelles techniques professionnelles.

Réponse technique :

Concerne le choix du matériel et des équipements de protection individuelle.

Réponse humaine :

Liée au savoir, savoir-faire et savoir-être des intervenants dans le cadre de la culture de sécurité en intervention.

Les préconisations, faites dans le présent projet, doivent bien évidemment faire l'objet d'une étude de faisabilité, afin d'évaluer les limites du système. Le plateau technique de l'ENSOSP peut être un support idoine pour réaliser les simulations du soutien sanitaire opérationnel.

Enfin, la mise en synergie des compétences, la réactivité et l'adaptabilité des moyens humains et matériels sont fondamentales à la réalisation des objectifs du soutien sanitaire opérationnel, contribuant au renforcement de la sécurité et à la santé des sapeurs-pompiers.

Capitaine Sylvain ROGISSART

Chef du projet étude EPI, SDIS 06

Responsable pédagogique à l'ENSOSP