



Reçu le :
8 octobre 2008
Accepté le :
16 décembre 2008

Disponible en ligne sur
 ScienceDirect
 www.sciencedirect.com

Évaluation des contraintes physiques, environnementales et de l'astreinte cardiaque de 43 opérateurs (en tenue de protection) de la dépollution de produits pétroliers lourds

Evaluation of physical constraints, environmental exposure and cardiac strain in 43 equipped clean-up operators of heavy fuel products

E. Quidelleur¹, B. Loddé^{1,*}, C.-L. Igoho-Zephir¹, M.-B. Eniafe-Eveillard¹, P. Choucroun¹, J.-D. Dewitte¹, A. Baert²

¹ Service des maladies de l'environnement et de santé au travail, CHU Morvan, 5, avenue Foch, 29609 Brest cedex, France

² Centre anti-poison, pavillon Clemenceau, hôpital Pontchaillou, rue Henri-Le-Guilloux, 35033 Rennes, France

Summary

Objectives. An evaluation of the physical constraints and environmental exposure to hydrocarbon-derived products in people who carry out clean-up operations on heavy fuel products on the coast is organized to assess the danger of cleaning up of the oil spills.

Materials and methods. Forty-three healthy volunteers wearing the protective equipment and cleaning an artificial coast underwent a cardiac strain measurement during activity in complement of a search for thermal strain (approached index WBGT, calculation of water loss, measurement of internal body temperature before and after activity). A subjective evaluation of perceived burden was correlated with indicators of articular constraints resulting from Joad weights frequency of movement and articular amplitude. Environmental exposure was assessed by the use of hydrocarbon sensors.

Results. For the adults in good physical condition, in normal temperature conditions, clean-up is regarded as non-strenuous. On the other hand, for the sedentary subjects, stressed, exposed to difficult weather conditions, clean-up can be regarded as strenuous or extremely strenuous. Concerning the environmental exposure, slight traces of toluene appear on the sensors in one case out of 18 measurements.

Conclusion. The studied sample was subjected to physical articular constraints and to variable cardiac strain. Environmental exposure is slight when it is a matter of cleaning heavy fuel products. The subjects who practise these activities tolerate better the

Résumé

Objectifs. Une évaluation des contraintes physiques et de l'exposition environnementale aux dérivés d'hydrocarbures chez des personnes amenées à effectuer une dépollution de produits pétroliers lourds sur un littoral est organisée pour évaluer la dangerosité du nettoyage des marées noires.

Matériel et méthode. Quarante-trois volontaires sains portant des équipements de protection et nettoyant un littoral artificiel ont subi un mesurage d'astreinte cardiaque d'activité en complément d'une recherche de contrainte thermique (indice WBGT approché, calcul de perte hydrique, mesurage de température corporelle interne avant et après activité). Une évaluation subjective de la pénibilité ressentie a été corrélée aux indicateurs de contraintes articulaires relevés par les poids des charges soulevées, la fréquence de mouvement et l'amplitude articulaire. L'exposition environnementale a été déterminée grâce à la mise en place de capteurs d'hydrocarbures portés.

Résultats. Chez les sujets adultes présentant une bonne condition physique, en conditions de températures neutres, la dépollution est considérée comme non pénible. En revanche, chez les sujets sédentaires, stressés, exposés à des conditions climatiques contraignantes, la dépollution peut être considérée comme dure à extrêmement dure. Concernant l'exposition environnementale, de faibles traces de toluène apparaissent une seule fois sur 18 prélèvements analysés.

Conclusion. L'échantillon étudié a été soumis à des contraintes physiques articulaires et présente une astreinte cardiaque variable,

* Auteur correspondant.
e-mail : Brice.lodde@chu-brest.fr

required efforts when they are healthy and trained young adults under non-strenuous weather conditions.

© 2009 Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

Keywords: Oil, Toxicology, Constraints, Heart

Introduction

La mer est une voie de transport de produits chimiques largement empruntée. Ce trafic maritime intense est à l'origine d'une préoccupation particulièrement importante des États côtiers en terme de sécurisation des flux de pétroliers. Malheureusement, malgré cette sécurisation et une réglementation contraignante à l'égard des transporteurs, des incidents et des accidents à l'origine de marées noires retentissantes ont été relevés ces dernières années (naufrage du Prestige, de l'Erika...).

Si l'on commence à mieux appréhender les préjudices écologiques, économiques, esthétiques et touristiques d'un littoral pollué, les impacts sur la santé des intervenants (bénévoles ou professionnels) de l'activité de nettoyage des biotopes souillés n'ont que peu, voire pas, été étudiés en dépit des craintes qu'ils génèrent dans la population générale. Nous avons, par conséquent, réalisé une évaluation des contraintes physiques et de l'exposition environnementale aux dérivés d'hydrocarbures chez les personnes amenées à effectuer cette dépollution.

Pour ce faire, un échantillon de volontaires sains a été constitué parmi des stagiaires participant aux formations de lutte contre les pollutions par hydrocarbures sur les installations du Centre de documentation, de recherche et d'expérimentations sur les pollutions accidentelles des eaux (Cedre) de Brest (France) entre mai et septembre 2007.

Cette étude descriptive présente également l'intérêt de savoir si les équipements de protection individuelle portés par les opérateurs lors de ces stages sont suffisamment efficaces pour la prévention des risques sanitaires inhérents aux dangers des produits pétroliers.

Matériel et méthode

Il s'agit d'une étude descriptive biométrique, métrologique et ergotoxicologique d'un échantillon de population sélectionné chez des adultes. Elle évalue, d'une part, la pénibilité du nettoyage des côtes polluées par une marée noire grâce à

l'exposition environnementale étant, quant à elle, faible lorsqu'il s'agit de nettoyer des produits pétroliers lourds. Les sujets amenés à pratiquer cette activité tolèrent mieux les efforts demandés lorsqu'ils sont adultes jeunes, sains et entraînés, dans les conditions thermiques non pénibles.

© 2009 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

Mots clés : Pétrole, Toxicologie, Contraintes, Cœur

un mesurage cardio-fréquencemétrique, un calcul de la déperdition hydrique, des contraintes thermiques et articulaires et détermine, d'autre part, la fraction inhalable d'hydrocarbures susceptible d'intoxiquer les personnes nettoyant des dérivés pétroliers lourds.

Population et lieu d'étude

Cette étude s'est déroulée sur la plage artificielle et le bassin du Cedre de Brest qui accueille des stagiaires de différentes entreprises ou instituts susceptibles de réaliser un nettoyage de plages souillées par du pétrole ou des dérivés pétroliers. Les stagiaires effectuent une formation théorique et une phase pratique de nettoyage sur la plage artificielle et le bassin souillés par du pétrole.

Les recueils des données ont eu lieu lors de quatre stages de cinq jours entre avril et septembre 2007 avec, pour chaque stage, deux après-midi de phase pratique de dépollution sur la plage artificielle du Cedre, pendant lesquelles étaient réalisés les mesurages.

Quatre-vingt personnes s'étaient inscrites à ces stages et devaient être réparties par groupes de 20. Tous les adultes volontaires sans antécédent médical et sans traitement de fond et dont l'examen clinique était normal étaient inclus dans l'étude par un médecin du travail. Au final, 43 sujets ont pu faire l'objet de mesurages.

Par ailleurs, au moment de cet examen, les sujets étaient questionnés sur leur pratique sportive (si elle existait) et la durée quotidienne moyenne de celle-ci.

Déroulement de l'activité de dépollution

Chaque sujet, pendant la phase pratique organisée sur la plage artificielle et le bassin du Cedre, était muni d'un équipement de protection (d'un poids de 6 kg) qui comprenait (*fig. 1*) :

- deux tenues (une combinaison de type Tyvek® et un ciré) ;
- un casque, des lunettes, un masque FFP1 ;
- une paire de gants ;
- une paire de bottes ;
- deux bouchons d'oreilles.



Figure 1. Équipement de protection.



Figure 2. Activité « galets ».

La phase pratique de ces stages de formation à la lutte contre les pollutions par hydrocarbures en zone littorale était composée de deux séquences :

- une séquence sur bassin ;
- une autre sur plage artificielle.

Notre étude ne s'est intéressée qu'à la seconde, qui comprenait trois activités :

- l'activité « galets » (fig. 2) ;
- l'activité « enrochement » (fig. 3) ;
- l'activité « pollution enfouie » (fig. 4).

Les techniques de nettoyage varient pour chaque activité et se résument en trois principales :

- le nettoyage avec « flushing » ou avec « lance-impact » ;
- le nettoyeur haute pression avec de l'eau de mer à une température comprise entre 80 et 100 °C après application d'un produit de nettoyage sans tensioactifs ;
- la « bétonnière » qui consiste à nettoyer des dérivés pétroliers sur des petites roches et galets souillés.

Les produits déversés étaient les suivants : du pétrole lampant, composé de kérosène (pétrole), hydrodésulfuré (n° cas 64742-81-0), et du fioul lourd, produit liquide issu de diverses fractions de raffinerie pouvant contenir une forte proportion d'hydrocarbures (n° cas 68476-33-5).



Figure 3. Activité « enrochement ».



Figure 4. Activité « pollution enfouie ».

Données recueillies

Des mesurages cardio-fréquencemétriques, des contraintes thermiques, articulaires, de la perte hydrique et une recherche de la fraction inhalable d'hydrocarbures auprès des stagiaires ont permis d'évaluer la pénibilité du nettoyage de ces produits pétroliers lourds.

Paramètres étudiés

La cardio-fréquencemétrie

Un mesurage de la fréquence cardiaque de repos, de récupération et d'activités durant les différentes phases pratiques du stage a été réalisé au moyen de cardio-fréquencemètres individuels. Des échelles de pénibilité comptabilisant les fréquences cardiaques obtenues (grille de Frimat) [1] ont permis de déterminer si l'activité pouvait être caractérisée de nulle (borne inférieure) à extrêmement dure (borne supérieure).

Chacun des candidats a été équipé d'un cardio-fréquencemètre de la marque Polar®, le s610i composé :

- d'une ceinture thoracique à taille variable équipée d'un capteur des battements cardiaques dont les électrodes rainurées ont été humidifiées ;

- d'une montre réceptrice des fréquences cardiaques instantanées.

Les fréquences cardiaques étaient enregistrées toutes les cinq secondes.

Une transmission codée entre émetteur et récepteur se faisait pour chaque cardio-fréquence-mètre.

Nous avons doté les volontaires des cardio-fréquence-mètres avant la mise en place de leur équipement de protection et avons débuté l'enregistrement par une phase de repos. Les sujets étaient assis, sans parler pendant dix minutes environ, après une période de 60 minutes sans fumer, à distance d'une collation ou plus d'une heure après le dernier repas. Puis nous avons poursuivi l'enregistrement en continu lors des phases pratiques du stage et avons mesuré :

- la fréquence cardiaque moyenne observée pendant la durée du travail (FCmoy) ;
- la fréquence cardiaque de crête pendant la durée du travail (FCc) ;
- l'accélération de la fréquence cardiaque (ΔFC) qui est égale à la différence de la fréquence cardiaque de crête et de la fréquence cardiaque moyenne (FCc-FCmoy) ;
- le coût cardiaque absolu (CCA) qui représente la différence entre la fréquence cardiaque moyenne et la fréquence de repos, dite de référence (FCmoy-FCr) ;
- le coût cardiaque relatif (CCR), exprimant quant à lui le rapport en pourcentage entre le CCA et la fréquence cardiaque de « réserve » défini comme la différentielle de la fréquence cardiaque maximale théorique et de la fréquence cardiaque de repos (CCA/FMT-FCr) ;
- La fréquence cardiaque maximale théorique (FMT), définie par la formule $FMT = 220 - \text{âge (années)}$ selon Astrand et al.[2-4], par une épreuve d'effort ou par une formule approchée.

La méthode de Frimat, que nous avons sélectionnée [5], propose une évaluation de la pénibilité du travail selon l'ensemble des indices résultant de l'analyse de l'enregistrement en continu. Ainsi, selon les fréquences cardiaques obtenues, nous obtenons des cotations qui s'ajoutent les unes aux autres pour déterminer un score de pénibilité. Plus

l'astreinte cardiaque est élevée, plus le score est élevé, le score minimal étant de 5 et le score le plus élevé de 30 (tableau I).

Plusieurs paramètres peuvent influencer les fréquences cardiaques [6-8]. Nous nous sommes donc appliqués à obtenir que des résultats relatifs aux tâches exercées, à leurs durées et aux paramètres environnementaux ; les autres facteurs ayant été minimisés par la sélection de volontaires sains, sur le plan cardiovasculaire notamment.

À la fin du stage, les candidats ont été mis au repos pendant sept minutes pour obtenir la fréquence de récupération.

L'exploitation informatique des fréquences enregistrées a été réalisée à l'aide d'une interface et d'un logiciel ProPulses Ergo® qui a permis un affichage de la courbe des fréquences cardiaques. Les analyses et les calculs automatisés des différentes astreintes cardiaques de l'enregistrement sont traités à l'aide du même logiciel et comparés à la grille de pénibilité de Frimat. Les différentes mesures ont été comparées aux valeurs de référence.

Évaluation de perte de masse corporelle

Chaque volontaire sain a été pesé sans tenue de protection avant la phase pratique, pour avoir le poids de référence ou poids initial appelé P_i .

Puis, nous avons attribué à chaque sujet un stock hydrique que nous avons suivi.

Selon la relation, un litre d'eau équivaut à un kilogramme ; nous en avons déduit la masse P_L correspondant à l'apport hydrique consommé. Aucun sujet ne devait uriner durant les mesurages.

Une nouvelle pesée que nous avons appelé P_f a été réalisée à la fin du stage.

On déduit P_f de ($P_i + P_L$) pour obtenir ΔP , assez bon indicateur de la variation de poids compte tenu de l'apport hydrique individuel.

D'après la norme française (Agence française de normalisation) X35-204, Organisation internationale de normalisation (ISO) 7933 (débit de sudation requise) de 2005 : « une dés-hydratation de 3 % est retenue comme seuil maximal accep-

Tableau I
Grille de pénibilité d'après Frimat.

Cotation	1 point	2 points	4 points	5 points	6 points
F.Moy.	90 à 94	95 à 99	100 à 104	105 à 109	110 et +
Delta F.C	20 à 24	25 à 29	30 à 34	35 à 39	40 et +
F. Crête	110 à 119	120 à 129	130 à 139	140 à 149	150 et +
CCA	10	15	20	25	30
CCR	10 %	15 %	20 %	25 %	30 %

F. Moy. : fréquence moyenne ; Delta F.C : accélération de la fréquence cardiaque ; F. Crête : fréquence cardiaque de crête ; CCA : coût cardiaque absolu ; CCR : coût cardiaque relatif ; Score : 25 : extrêmement dur ; 18 : supportable ; 24 : très dur ; 14 : léger ; 22 : dur ; 12 : très léger ; 20 : Pénible ; ≤ 10 : aucune contrainte.

table dans l'industrie pour une durée d'exposition de quatre à huit heures ».

Évaluation de la variation de la température centrale

Dans cette étude, la température tympanique a été prise comme valeur approchée de la température centrale [9]. Elle a été mesurée grâce à un thermomètre tympanique à infrarouge de la marque First Temp Genius® (sensibilité 0,1 °C), avant que les sujets s'habillent et à la fin de l'exercice, au retrait de la tenue.

L'augmentation de la température tympanique que nous avons prise comme valeur au-delà de laquelle un sujet présentait une contrainte thermique trop élevée était de +1 °C [10].

Les mesurages d'ambiances

L'ambiance thermique a été évaluée à l'aide de l'indice Wet Bulb Globe Temperature (WBGT) approché (normes X35-201 et ISO 7730 de 1994) répertoriant la température sèche, humide, de rayonnement et la vitesse de l'air durant les périodes de stage.

Nous avons ainsi recherché d'éventuelles contraintes environnementales pouvant interférer sur la fréquence cardiaque d'activité et de récupération [11].

Nous avons utilisé un thermo-hygroanémomètre de marque Fulher® modèle Testo 445.

Pour la température de rayonnement nous avons utilisé un globe noir de la marque Kimo® modèle TK 100.

Dosimétries individuelles

Parmi les volontaires sains, 18 sujets ont été tirés au sort et été équipés d'une cartouche de charbon actif placée au niveau du col du ciré et reliée à une pompe débitmétrique (200 ml/s).

Nous avons ainsi procédé à une dosimétrie individuelle pour évaluer la fraction inhalable des aérosols d'hydrocarbures et, par conséquent, l'exposition environnementale aux dérivés pétroliers lors de la phase pratique.

L'analyse de ces dosimètres, réalisée par le Laboratoire d'étude et de recherche en environnement et santé de Rennes (Léres) a permis d'évaluer l'exposition des stagiaires aux hydrocarbures issus du déversement de produits pétroliers lourds lors des séances pratiques et d'adapter, en fonction, les équipements de protection individuelle.

Les dérivés chimiques retrouvés ont été dilués par un solvant (pentane), puis analysés par chromatographie en phase gazeuse avec détection par spectrométrie de masse FID. Ils étaient catégorisés ensuite en produits lourds ou légers selon

leur composition et la longueur des chaînes hydrocarbonées retrouvées.

Échelle subjective de pénibilité

À la fin du stage, nous avons proposé une autoévaluation subjective à chaque sujet. Elle vise à déterminer le ressenti vis-à-vis de la pénibilité des tâches réalisées. Une moyenne des notes obtenues pour chaque activité a été réalisée pour définir une subjectivité générale de la pénibilité de différentes phases de dépollution chez l'ensemble des stagiaires. L'échelle retenue est celle de Borg [12]. Les résultats de cette échelle sont corrélés avec le relevé des cardio-fréquences-mètres.

Nous avons également pris en compte d'autres renseignements sur les sujets, tels que leur pratique d'une activité sportive, qui pouvait influencer leur ressenti sur la pénibilité d'un travail fourni.

Enfin, cette évaluation subjective de la pénibilité ressentie par les stagiaires a été corrélée aux indicateurs de contraintes articulaires relevés aux moyens de films et de photographies d'activité.

Résultats

Les caractéristiques de l'échantillon

Cet échantillon comprend 43 personnes dont 40 hommes et trois femmes.

L'âge moyen de cet échantillon est de 39 ans (25–58 ans). Le poids moyen est de 80 kg (56–120 kg). La fréquence cardiaque maximale théorique moyenne de cet échantillon est de 181 battements par minute (162–195 battements par minute).

Les mesurages

La cardio-fréquencemétrie

Sur les 43 sujets équipés, 11 enregistrements n'ont pas pu être entièrement exploitables sur l'ensemble de la phase pratique en raison d'arrêts accidentels (arrêt possible du mesurage par pression mécanique impromptue du bouton arrêt, mémoire saturée, projection d'eau, de sable ou autres interférences). Néanmoins, dans ces 11 enregistrements, certains ont pu couvrir une séquence entière, telle que l'activité « pollution enfouie » ou l'activité « galets » ou « enrochement ». En se référant à l'échelle de Frimat, les résultats sont les suivants.

Pour l'activité « galets » (33 enregistrements) :

- 24,5 % (8 sujets) montrent un niveau de pénibilité extrêmement dur ;

- 18 % (6 sujets) un niveau de pénibilité dur ;
- 12 % (4 sujets) un niveau de pénibilité pénible ;
- 24,5 % (8 sujets) un niveau supportable ;
- 21 % (7 sujets) un niveau sans contraintes.

Pour l'activité « enrochement » (33 enregistrements) :

- 43 % (14 sujets) montrent un niveau de pénibilité extrêmement dur ;
- 15 % (5 sujets) un niveau de pénibilité dur ;
- 3 % (1 sujets) un niveau de pénibilité pénible ;
- 21 % (7 sujets) un niveau supportable ;
- 18 % (6 sujets) un niveau sans contraintes.

Pour « la pollution enfouie » (33 enregistrements) (fig. 5) :

- 18 % (6 sujets) montrent un niveau de pénibilité extrêmement dur ;
- 9 % (3 sujets) un niveau de pénibilité dur ;
- 15 % (5 sujets) un niveau de pénibilité pénible ;
- 15 % (5 sujets) un niveau supportable ;
- 43 % (14 sujets) un niveau sans contraintes.

Enfin, la répartition des niveaux de pénibilité pour l'ensemble de la phase pratique (30 enregistrements) (fig. 6) :

- 33 % (10 sujets) montrent un niveau de pénibilité extrêmement dur ;
- 10 % (3 sujets) un niveau de pénibilité dur ;
- 17 % (5 sujets) un niveau de pénibilité pénible ;
- 30 % (9 sujets) un niveau supportable ;
- 10 % (3 sujets) un niveau sans contraintes.

Au sein de notre échantillon, nous pouvons également remarquer que les trois femmes qui ont participé à l'étude présentent toutes un niveau de pénibilité supérieur à 24 (soit très dur selon Frimat). De plus, une tendance semble exister : plus les sujets sont sportifs plus l'astreinte cardiaque des activités de dépollution tend à diminuer. Le sujet le plus sportif (15 h de pratique par semaine), âgé de 45 ans, présentait le niveau de pénibilité le plus bas (inférieur à 10).

Si nous nous intéressons aux variables âge et niveau de pénibilité chez les hommes, le test Kruska-Wallis recherchant la relation entre vieillissement et augmentation

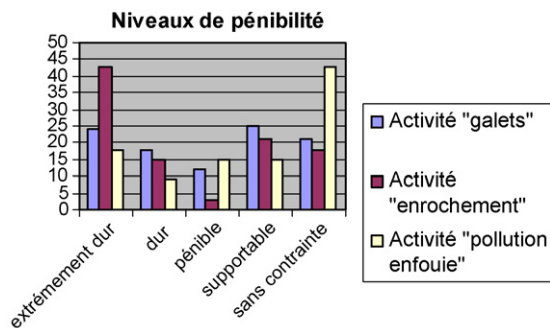


Figure 5. Les niveaux de pénibilité des différentes activités.

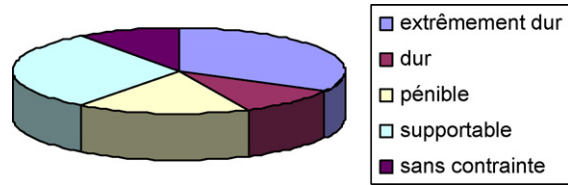


Figure 6. Niveaux de pénibilité pour l'ensemble de la phase pratique.

d'astreinte cardiaque retrouve une corrélation à la limite du significatif ($p = 0,0706$). Nous pouvons donc supposer que le niveau de pénibilité a tendance à augmenter avec l'âge même si, pour le démontrer significativement, nous ne disposons pas d'un échantillon de taille assez grande. Cependant, l'âge n'est pas un facteur isolé à étudier dans ce cas, puisque l'entraînement permet (malgré le vieillissement) de mieux tolérer les efforts demandés par les activités de dépollution.

Évaluation de la perte de masse corporelle

Les variations de poids lors des phases pratiques vont de plus 0,85 à moins 1,9 kilogrammes de masse corporelle. Quatre sujets dans l'échantillon étudié dépassent la valeur limite de 3 % de perte de poids tolérée (par rapport au poids de l'individu avant activité).

Évaluation de la variation de température tympanique

Dans la première série, un seul mesurage avait été réalisé pour obtenir la température T , technique généralement employée [9], mais manquant sans doute de représentativité ; c'est pourquoi nous avons, par la suite, effectué un mesurage au niveau des deux tympans de chaque sujet. Dans les trois dernières séries, la température T est, par conséquent, la moyenne de la température de l'oreille gauche et de la température de l'oreille droite. On ne retrouve pas de modification significative de la température tympanique des stagiaires au décours des séances. Seul un stagiaire présente une augmentation de température tympanique de plus de 1 °C.

Ambiance thermique

À partir des paramètres thermiques, hygrométriques, anémométriques, de rayonnement, nous obtenons l'indice WBGT ($0,7 \times$ température humide + $0,3$ température de rayonnement + $0,1$ température de l'air) en milieu extérieur [10,13]. Cet indice est, en général, utilisé pour des conditions de travail en enceintes closes, cependant, en pratique,

Tableau II
Indices WBGT calculés.

Date	25.04.07	26.04.07	23.05.07	24.05.07	12.09.07	13.09.07	19.09.07	20.09.07
WBGT	15,70 °C	15,33 °C	18,16 °C	19,4 °C	22 °C	25,2 °C	20 °C	21 °C

WBGT : Wet Bulb Globe Temperature.

l'indice WBGT sert au dépistage des situations à risque des contraintes thermiques [13].

La température humide est obtenue à partir de l'abaque des zones de confort thermique des normes de l'American Society of Heating and Ventilating Engineers, suite aux mesures de la température sèche et du pourcentage d'hygrométrie.

Si le résultat WBGT est supérieur à 25 °C, la situation doit être analysée de façon plus approfondie. Dans notre étude, un seul des WBGT calculés est légèrement supérieur à 25 °C. Les valeurs obtenues sont rapportées dans le [tableau II](#).

Dosimétries individuelles

Des dosimétries individuelles ont été réalisées par tirage au sort parmi les 43 adultes inclus dans l'étude, soit 18 prélèvements. Le seuil de détection était de 0,1 µg.

Nous ne retrouvons qu'une fraction de toluène, à peine détectable, sur un seul prélèvement parmi les 18 analysés.

Échelle subjective de pénibilité

Selon l'échelle de subjectivité de Borg (1970), nous retrouvons, en fonction des activités, des valeurs moyennes des quatre sessions étudiées :

- pour la lance-impact dans l'activité « enrochement » : 3,6 ;
- pour la lance-impact dans l'activité « galets » : 3,55 ;
- pour le nettoyeur haute pression dans l'activité « enrochement » : 1,31 ;
- pour le nettoyeur haute pression dans l'activité « galets » : 2,10 ;
- pour l'activité « pollution enfouie » : 2,82.

Discussion

La répartition essentiellement masculine de cet échantillon, dont la moyenne d'âge est de 39 ans, correspond à des effectifs de professionnels du milieu industriel pétrolier et, par conséquent, ne reflète pas forcément l'ensemble d'une population que l'on pourrait rencontrer sur un chantier de dépollution du littoral. En effet, cette population, composée en majorité de bénévoles, est souvent très hétéroclite (adultes âgés, enfants, femmes, sujets présentant des

antécédents pathologiques cardiovasculaires...). Les résultats de cette étude sont, de ce fait, à intégrer à des connaissances de physiologie du travail et des conditions d'exercice professionnel de ces individus. L'extrapolation à une grande population hétérogène est donc à nuancer.

Néanmoins, les résultats pourront servir de bases de préconisations, de recommandations sur les équipements de protection à adopter par des professionnels adultes sur ce type de chantiers, d'autant plus qu'il a rarement été effectué autant d'analyses de fichiers cardio-fréquencemétriques (même si des données étaient manquantes) pour les mêmes tâches [14-16].

En dépit de l'acquisition de toutes les données relatives à ces paramètres cardiaques, nous ne pouvons écarter la possibilité d'interférences dans l'interprétation des résultats. De plus, les enregistreurs ont pu être pollués par les éléments extérieurs (sable, eau de mer, poussières, chocs). Néanmoins, nous avons pu obtenir un grand nombre de mesures sur les quatre stages étudiés, confirmant les données de la littérature : une activité de nettoyage comportant un port d'équipements de protection induit une astreinte cardiaque dont il faut tenir compte dans l'aptitude médicale à porter ces équipements [17-20].

De façon comparative, l'activité « pollution enfouie » semble moins astreignante que l'activité « galets » et surtout que l'activité « enrochement ».

La pénibilité de l'activité « pollution enfouie » est à pondérer par les contraintes biomécaniques du rachis, des épaules et des poignets qu'elle comporte. De plus, les stagiaires y consacrent moins de temps que les autres activités (inférieur à dix minutes). En outre, tous les formateurs soulignent qu'elle nécessite une technique particulière. L'utilisation de la lance-impact à plonger de façon répétitive dans le sable implique une technique de portage maîtrisée et une flexion antérieure du rachis allant de 10 à 45°.

Par ailleurs, l'ordre dans lequel sont effectuées les activités a une influence sur le coût cardiaque. Ainsi, les stagiaires qui débutent la phase pratique par une activité peu astreignante voient le coût cardiaque global de la phase pratique diminué par rapport à ceux qui effectuent une activité très astreignante dès le début, suggérant ainsi la nécessité d'un échauffement musculaire pour mieux tolérer les efforts et un épuisement musculaire gênant pour la poursuite de la

phase pratique sur le plan cardiaque lorsque les stagiaires commencent par le plus dur.

De plus, l'activité « enrochement » voit encore son astreinte augmenter lorsqu'elle est effectuée en premier.

L'astreinte cardiaque varie aussi selon d'autres critères personnels, comme l'entraînement physique. En effet, plus le sujet est sportif, plus sa marge de coût cardiaque est grande et moins sa fréquence cardiaque de crête d'activité est élevée [21]. Dans notre étude, les sujets les plus sportifs étaient, en général, ceux qui présentaient une astreinte cardiaque nulle ou supportable durant les trois activités.

Ces résultats démontrent donc que ce type de dépollution présente une pénibilité, sur le plan cardiaque, non négligeable pour les opérateurs. L'absence d'antécédent cardiopulmonaire et un entraînement sportif pratiqué régulièrement sont des éléments qui pourraient permettre de sélectionner les sujets les plus à même de tolérer les différentes phases de ces activités physiques.

Sur le plan de la contrainte thermique, les conditions environnementales étaient favorables lors de la phase pratique et les durées d'activité étaient réduites. Or, en situation réelle, ce n'est pas toujours le cas. Ces activités de nettoyage peuvent durer des jours entiers et parfois plusieurs mois [22]. De plus, les différentes techniques de dépollution sont parfois difficiles à mettre en place dans des conditions météorologiques contraignantes (grandes chaleurs, fort taux d'humidité) et sur des sites difficilement accessibles (falaises, plages en dévers, bahines...).

Toujours, est-il que nous obtenons des astreintes cardiaques très variables d'un individu à l'autre, mais avec une tendance à une plus grande pénibilité pour l'activité « enrochement » dans des conditions thermiques favorables (indice WBGT extérieur approché ne dépassant jamais 26 °C).

Cette faible contrainte thermique est corroborée par les résultats des pertes hydriques des stagiaires. En effet, même si nous constatons que la majorité de l'échantillon a perdu du poids, un seul sujet dépasse la limite des 3 %, sujet s'étant dit « stressé » par l'étude et dont les capacités physiques ont décliné au fur et à mesure du déroulement de la journée.

L'évaluation de la température centrale suscite des controverses dans la littérature [9,10]. Nous avons fait le choix de la température tympanique parce qu'elle nous semblait la plus facilement réalisable eu égard, d'une part, aux conditions de notre étude et, d'autre part, parce qu'elle chiffrait la température centrale. Même si nous ne retrouvons pas d'élévation de la température tympanique (ce qui corrobore le fait d'une faible contrainte thermique), nous avons été étonnés de certains résultats, car certaines variations étaient négatives, c'est-à-dire que la température après activité était inférieure

à la température initiale. À ce jour, nous n'avons pas trouvé de réponse à ces variations négatives, si ce n'est la possibilité du refroidissement de la paroi externe du tympan par la pluie ou les conditions thermiques extérieures. Nous pensons donc que le mesurage tympanique n'est pas fiable pour obtenir l'appréciation de variation de la température centrale des sujets.

En ce qui concerne le remplissage de l'échelle subjective de pénibilité, certains sujets de notre échantillon, originaires des pays non francophones ont eu des difficultés à comprendre la terminologie de celle-ci. Nous avons aussi remarqué que les niveaux de pénibilité fournis à partir de cette échelle subjective étaient souvent inférieurs à ceux fournis par l'évaluation des fréquences cardiaques selon la méthode de Frimat. Les notes étaient très différentes d'une série à l'autre. Cependant, nous nous sommes aperçus que c'est la contrainte articulaire qui semblait la plus gênante chez de nombreux sujets, car les activités nécessitant le port de la lance-impact à hauteur d'épaule se retrouvaient en tête des indices de pénibilité. À ce propos, beaucoup de sujets se plaignaient de lombalgies et scapulalgies mécaniques à la fin des journées.

Enfin, en ce qui concerne les fractions inhalables d'hydrocarbures obtenues par dosimétries individuelles, il a été difficile de se fier aux résultats issus du premier stage. Le Léres nous a, en effet, signalé de nombreuses saturations des capteurs.

À ce titre, le sable et l'eau de mer ont pollué les capteurs à hydrocarbures. Il faut dire que ces capteurs sont plutôt prévus pour des prélèvements en atmosphère sèche ou très peu humide. Néanmoins, du toluène à peine détectable (< 0,1 µg) a été signalé sur un échantillon alors que l'on retrouvait beaucoup de grains de sable sur les autres échantillons.

C'est pourquoi, par la suite, nous avons préféré prélever uniquement pendant la séquence du nettoyage haute pression (nébulisation et température comprise entre 80 et 100 °C). Nous avons ensuite acheminé le jour même chaque prélèvement.

Les neuf prélèvements qui suivaient étaient tous négatifs. Cependant, nous avons, là aussi, mis en évidence la projection de grains de sable (susceptibles d'être inhalés) sur les capteurs. Par ailleurs, dans cette situation de pollution artificielle par une marée noire, les produits déversés sont représentés par du fioul lourd et du pétrole lampant (donc peu volatils). Or, en réalité, les dérivés pétroliers qui souillent les côtes sont parfois différents : plus légers, plus nocifs [23–25]. Ils pourraient alors déterminer une exposition différente de celle des produits lourds en ambiance thermique neutre.

Cependant, de façon générale, le contact prolongé avec la peau doit être évité [26]. Les ramasseurs doivent, par conséquent, porter des gants, des combinaisons, des bottes imperméables et des lunettes de protection pour réaliser ces exercices. Cela dit, il est évident que le port de ces tenues de protection (d'un poids de 6 kg dans notre étude) majore l'astreinte cardiaque de l'activité de dépollution. En outre, les résultats des dosimétries incitent à mettre en place une protection des voies respiratoires par masque FFP1, essentiellement pour prévenir l'inhalation de grains de sable susceptibles d'être souillés par les dérivés pétroliers lourds utilisés ici.

Conclusion

La réalisation d'activités de dépollution des marées noires littorales suggère que la population, en l'occurrence composée de professionnels dans ce travail, lorsqu'elle porte des équipements de protection adaptés (tenue, bottes, gants imperméables, lunettes, masque FFP1), est soumise à des contraintes physiques articulaires et à une astreinte cardiaque non négligeable, l'exposition environnementale étant, quant à elle, faible lorsqu'il s'agit de nettoyer des produits pétroliers lourds. Les sujets amenés à pratiquer cette activité tolèrent mieux les efforts demandés lorsqu'ils sont adultes jeunes, sains et entraînés, dans les conditions thermiques non pénibles que nous avons relevées les jours de mesurages. Pour les autres sujets, il conviendrait d'effectuer d'autres travaux afin de déterminer l'incidence des contraintes physiques et de l'astreinte cardiaque sur des malades porteurs d'affections chroniques, limitant les capacités cardiorespiratoires et articulaires notamment.

Remerciements

À A. Guéna, M. Laurent et toute l'équipe d'accueil du Cedre de Brest (France).

Aux membres du Léres.

Références

1. Frimat P, Delepine P. Utilisation d'une grille d'astreinte cardiaque. *Rev Med Trav* 1988;15:159-60.
2. Astrand PO. The human engine. *Acta Physiol Pol* 1973;24:29-47.
3. Astrand I, Astrand PO, Hallbäck I, et al. Reduction in maximal oxygen uptake with age. *J Appl Physiol* 1973;35:649-54.
4. Astrand PO. Physiology of exercise and physical conditioning in normals. *Schweiz Med Wochenschr* 1973;103:41-5.
5. De Gaudemaris R, Frimat P, Chamoux A. Mesure de la pression artérielle et de la fréquence cardiaque en activité professionnelle. *Explorations fonctionnelles humaines*. Edit Med Int Cachan 1998;150.
6. Monod H, Pottier M. Adaptations respiratoires et circulatoires au travail musculaire. *Precis Physiol Trav* 1981;159-204.
7. Meyer JP, Flenghi D. Détermination de la dépense énergétique de travail et des capacités cardiorespiratoires maximales à l'aide d'un exercice sous-maximal sur *step-test*. *Doc Med Trav* 1995;64:245-52.
8. Meyer JP, Lodde B, Dibry G, et al. Cardiorespiratory and subjective strains during actuation of large hand wheels. *Int J of Ind Ergo* 2000;26:47-56.
9. Greenleaf JE, Castle BL. External auditory canal temperature as an estimate of core temperature. *J Appl Phys* 1972;32:194-8.
10. Vogt JJ, Metz B. Ambiances thermiques. *Prec Physiol Trav* 1981;217-89.
11. Duncan HW, Gardner GW, Barnard RJ. Physiological responses of men working in fire fighting equipment in the heat. *Ergo* 1979;22:521-7.
12. Borg G. Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scand J Rehab Med* 1970;2:3:92-8.
13. Martinet C, Meyer JP. Travail à la chaleur et confort thermique. *Notes Sci Techn* 1999;184:59.
14. Chamoux A, Hennebaut JM. Astreintes physiologiques liées au port du masque et de tenues de protection. *Arch Mal Prof* 2000;61:204.
15. Porszasz J, Tasnadi J, Bechara B, et al. Physiological limits of exercise in full-body protective clothing 1997;3:242-57.
16. Hettlinger T, Heudorfer W, Dietmann U, et al. Health and safety at work; 1997, 162 p.
17. Calmus ML, Borel P, Alcouffe J. Évaluation de la pénibilité des opérations de désamiantage. *Arch Mal Prof* 2002;63:67-76.
18. Borel P, Guidicelli MC, Klarsy D, et al. Étude cardiofréquence-métrique des recherches accélérées de fuites dans le travail en égot. *Cah Med Interprof* 2004;44:465-71.
19. Calmus ML, Borel P, Alcouffe J. Évaluation de la pénibilité des opérations de désamiantage. Réflexions sur la méthodologie de l'évaluation des coûts cardiaques. *Cah Med Interpro* 2002;42:357-67.
20. Stempfer MO, Owallier L, Aptel M, et al. Astreinte cardiaque des sapeurs-pompiers professionnels lors d'un parcours d'entraînement avec ARI. *Arch Mal Prof* 1994;55:493-7.
21. Frimat P, Chamoux A, De Gaudemaris R, et al. Fréquence cardiaque et travail. Quelle utilisation ? Quels critères ?. *Arch Mal Prof* 1989;50:357-60.
22. Brasseur G. Marée noire : quels risques pour les nettoyeurs des côtes ? *Trav Secur* 2000;595:2-7.
23. Lafon D, Pichard A, Bisson M. Évaluation du danger toxicologique du fioul rejeté sur les côtes. *Inst Nat Env Risques Ind* 2000;31.
24. Nilson FP. Possible impact of a primordial oil slick on atmospheric and chemical evolution. *Orig Life Evol Biosph* 2002; 32:247-53.
25. Colombo JC, Barreba A, Bilos C, et al. Oil spill in the Rio de la plata estuary, Argentina:1. Biogeochemical assessment of waters, sediments, soils and biota. *Environ Pollut* 2005;134:277-89.
26. Lemiere S, Cossu-Leguille C, Bispo A, et al. DNA damage measured by the single-cell gel electrophoresis assay in mammals fed with mussels contaminated by the "Erika" oil-spill. *Muta Res* 2005;581:11-21.