



HAL
open science

Comment concilier la prévention liée aux fumées de soudage et la mise en oeuvre de technologies prototypiques dans un environnement contraint ?

Olivia Oliveira

► To cite this version:

Olivia Oliveira. Comment concilier la prévention liée aux fumées de soudage et la mise en oeuvre de technologies prototypiques dans un environnement contraint ?. Santé. 2017. dumas-01614668

HAL Id: dumas-01614668

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01614668>

Submitted on 11 Oct 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES

Mémoire de master PRNT

Alternance en entreprise – 2^{ème} année de master PRNT – Année 2016/2017

Comment concilier la prévention liée aux fumées de soudage et la mise en œuvre de technologies prototypiques dans un environnement contraint ?



Entreprise :

CEA Centre de Cadarache
IRFM / DIR / CISE Bât 513
13115 Saint Paul Lez Durance



Alternant :	M ^{me} Olivia Oliveira
Tuteur Entreprise :	M. Ivan Crest
Tuteur Universitaire :	M. Patrick Druart

		Nom :	Date :	Visa
Rédacteur :	Alternant	M ^{me} Olivia Oliveira		
Approbateur :	Tuteur Entreprise	M. Ivan Crest		

MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES

MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES

Mémoire de Master PRNT

Alternance en entreprise – 2^{ème} année de Master PRNT

Année 2016 / 2017

Comment concilier la prévention liée aux fumées de soudage et la mise en œuvre de technologies prototypiques dans un environnement restreint ?



Entreprise :

CEA Centre de Cadarache
IRFM / DIR / CISE Bât 513
13115 Saint Paul Lez Durance



Alternant	M ^{me} Olivia Oliveira
Tuteur Entreprise	M. Ivan Crest
Tuteur Universitaire	M. Patrick Druart

Remerciements

Je tiens à adresser mes sincères remerciements à :

- L'ensemble de l'équipe pédagogique de master PRNT pour la confiance accordée durant ces deux années d'alternance.
- M. **Ivan Crest**, mon tuteur professionnel, pour m'avoir chaleureusement accueillie. Son expérience et la confiance qu'il m'a accordée m'ont permis d'évoluer professionnellement.
- M. **Patrick Druart**, tuteur universitaire, pour son suivi minutieux et son accessibilité.
- M. **Yvan Lausenaz**, chef d'installation, qui m'a permis d'accomplir mon alternance au sein de la Cellule Installation Sécurité Environnement.
- M^{me} **Carole Rhul**, ingénieure sécurité suppléante, pour sa gentillesse, son aide ainsi que son professionnalisme.
- MM. **Cyril Brun & Laurent Gargiulo** pour leurs disponibilités et leur gentillesse.
- M^{mes} **Karine Danion & Valérie Lenne**, MM. **Eric Benoit, Frédéric Villecroze, Jean-Paul Escop**, membres de la Cellule Installation Sécurité Environnement, pour leur aide ainsi que leur convivialité.
- L'ensemble du personnel de l'IRFM, pour son amabilité et son accueil chaleureux.
- M. **Hassan Khartabil**, enseignant chercheur en chimie moléculaire.
- M. **Jérôme Oliveira**, Interne en médecine générale pour son aide.

Chacune de ces personnes a contribué à mon investissement dans le travail demandé. Elles m'ont apporté des connaissances différentes, ce qui rend cette expérience complète, tant humainement que professionnellement.

Sommaire

Remerciements	1
Sommaire	2
Table des illustrations.....	3
Index.....	4
Introduction.....	5
I. Présentation de l'entreprise.....	6
II. Fumées de soudage.....	10
III. Traitement de la thématique	17
Conclusion	41
Bibliographie.....	42
Table des matières	43
Annexe 1 : Carte heuristique.....	45
Annexe 2 : Questionnaire à destination des soudeurs	50
Annexe 3 : Planning de l'étude.....	53
Annexe 4 : Résultats des EvRP.....	56
Annexe 5 : Méthodologie EvRC utilisée par le CEA	60
Résumé.....	63

Table des illustrations

TABLEAU 1 - COMPOSANTS POSSIBLES DES FUMÉES DE SOUDAGE ET LEURS EFFETS SANITAIRES	11
TABLEAU 2 - TEMPÉRATURES DE FUSION DE CERTAINS MÉTAUX	12
TABLEAU 3 - CLASSEMENT DES AGENTS CMR SELON LE RÉGLEMENT CLP	14
TABLEAU 4 - LES VLEP DU CHROME ET DU NICKEL	18
TABLEAU 5 - RÉSULTATS DES MESURAGES DES POLLUANTS DANS L'ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL	25
TABLEAU 6 - RÉCAPITULATIF DES SITUATIONS POSSIBLES À L'ISSUE DES MESURAGES DE POLLUANTS	26
TABLEAU 7 - RÉCAPITULATIF DES RISQUES MAJEURS.....	27
FIGURE 1 - LOCALISATION DES CENTRES CEA SUR LE TERRITOIRE FRANÇAIS.....	6
FIGURE 2 - RÉPARTITION DES DIFFÉRENTES DIRECTIONS CEA SUR LE CENTRE DE CADARACHE	7
FIGURE 3 - ILLUSTRATION DU PLASMA AVEC SON CHAMP MAGNÉTIQUE CRÉÉ PAR LES BOBINES.....	8
FIGURE 4 - MODIFICATION DE LA STRUCTURE INTERNE DU TOKAMAK, POUR LE PROJET WEST	8
FIGURE 5 - ORGANIGRAMME DE L'IRFM.....	9
FIGURE 6 - SCHEMA D'UN POSTE A SOUDER	10
FIGURE 7 - PLACEMENT DES MOLECULES SELON LES DIFFERENTS ETATS DE LA MATIERE	12
FIGURE 8 - TRIANGLE DU FEU	13
FIGURE 9 - REPRESENTATION DE L'APPAREIL RESPIRATOIRE HUMAIN	15
FIGURE 10 - DIMENSIONS DES DIFFERENTES PARTICULES PRESENTES DANS L'AIR.....	15
FIGURE 11 - COMPOSITION DE L'ADN.....	16
FIGURE 12 - MATERIEL UTILISE LORS DES MESURAGES DES POLLUANTS AU POSTE DE TRAVAIL.....	25
FIGURE 13 - ILLUSTRATIONS DES POSITIONS DE TRAVAIL UTILISEES DANS LE TOKAMAK.....	35
FIGURE 14 - BOITIER DE CONTROLE DE LA VENTILATION GENERALE DU TOKAMAK.....	39

Index

ADN

acide désoxyribonucléique, 16

CEA

Commissariat à l'Energies Atomiques et aux Energies Alternatives, 1, 3, 6, 7, 22, 23, 60, 62

CHSCT

comité d'hygiène, de sécurité et des conditions de travail, 28

CMR

Cancérigène Mutagène Reprotoxique, 14, 23, 24, 25, 27, 29, 37, 57, 58, 59, 60

EPC

Equipement de Protection Collective, 19

EPI

Equipement de Protection Individuelle, 19, 28, 38, 52, 56, 57, 58, 59

EPIC

Etablissement Public Industriel et Commercial, 6

EvRC

Evaluation du Risque Chimique, 23

EvRP

Evaluation des Risques Professionnels, 23, 55, 56

IMBE

L'Institut Méditerranéen de la Biodiversité et d'Ecologie marine et continentale, 20

INB

Installation nucléaire de base, 7

IRFM

Institut de Recherche sur la Fusion par confinement Magnétique, 1, 3, 1, 7, 8, 9, 10, 19, 20, 30

ITER

International Thermonuclear Experimental Reactor, 7, 18

MIG-MAG

Metal Inert Gas - Metal Activ Gas, 10

PRNT

Prévention des Risques et des Nuisances Technologiques, 1, 3, 1, 55

TIG

Tungsten Inert Gas, 10, 11, 19, 30, 50, 52

TMS

Troubles Musculo-Squelettiques, 35, 39, 40, 50, 55

VLEP

Valeur Limite d'Exposition Professionnelle, 18, 25, 26, 60

VME

Valeur Moyenne d'Exposition, 60

WEST

Tungsten (W) Environment Study Tokamak, 5, 7, 8, 13, 14, 18

Introduction

Au-delà des enjeux économiques, juridiques et sociaux qui gravitent autour d'une société, la préservation de la santé et de la sécurité des travailleurs est une des préoccupations majeures des employeurs.

On dénombre en 2015 près de 710 000 accidents de travail en France ainsi qu'environ 51 000 maladies professionnelles déclarées. Le code de la sécurité sociale indique qu'« est considéré comme accident du travail, quelle qu'en soit la cause, l'accident survenu par le fait ou à l'occasion du travail à toute personne salariée ou travaillant à quelque titre ou en quelque lieu que ce soit, pour un ou plusieurs employeurs ou chefs d'entreprise ». Selon le même code, « est présumée d'origine professionnelle toute maladie désignée dans un tableau de maladies professionnelles et contractée dans les conditions mentionnées à ce tableau. Peut être également reconnue d'origine professionnelle une maladie caractérisée non désignée dans un tableau de maladies professionnelles lorsqu'il est établi qu'elle est essentiellement et directement causée par le travail habituel de la victime et qu'elle entraîne le décès de celle-ci ou une incapacité permanente ».

Les soudeurs sont exposés à plusieurs composés présents dans les fumées de soudage, engendrant potentiellement des maladies professionnelles. L'étude présentée dans ce document consiste à l'analyse du poste de travail d'un soudeur, exerçant dans une enceinte confinée tel que le tokamak WEST. Cette étude montre la difficulté à mettre en place une prévention des risques, tout en prenant en compte les aspects humains et techniques ainsi que les contraintes d'un environnement de travail.

Une première partie présente l'Institut de Recherche sur la Fusion par confinement Magnétique, entité du Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives, présente sur le centre de Cadarache.

La seconde partie est dédiée aux fumées de soudage, particulièrement leur formation, leur composition et leur toxicité pour le travailleur.

La troisième partie aborde le développement de la thématique. Le détail des évaluations des risques professionnels est précisé ainsi que les mesures de prévention existantes et envisageables.

Enfin la conclusion de l'étude rappelle l'importance de l'évaluation des risques dans le milieu professionnel. Les points clefs de la mise en place d'une prévention dans un milieu particulier comme un tokamak sont également détaillés.

I. Présentation de l'entreprise

A. Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives

Le CEA, créé en 1945, est un Etablissement Public Industriel et Commercial (EPIC), dirigé par un administrateur général qui est actuellement M. Daniel Verwaerde, nommé pour 4 ans par décret en Conseil des Ministres. Les orientations scientifiques ainsi que les activités du CEA sont détaillées dans un contrat d'objectifs et de performance Etat-CEA.

Il existe 10 Centres répartis sur l'ensemble du territoire français (dont le celui de Cadarache), qui sont placés sous la gouvernance d'une des 4 directions citées ci-dessous. Chacune de ces directions dirige un ou plusieurs centres :

- DAM : Direction des Applications Militaires.
- DEN : Direction de l'Energie Nucléaire.
- DRT : Direction de la Recherche Technologique.
- DRF : Direction de la Recherche Fondamentale.

Acteur majeur de la recherche, du développement et de la recherche, le CEA articule ses recherches autour de divers domaines tels que :

- Défense et sécurité.
- Science de la matière et de l'univers.
- Santé et science du vivant.
- Energie nucléaire.
- Energie renouvelable.
- Technologie industrielle.
- Climat et environnement.



Figure 1 - Localisation des centres CEA sur le territoire français

B. Centre de Cadarache

Le centre de Cadarache a été créé en 1959 et s'est implanté sur la commune de Saint-Paul-Lez-Durance dans les Bouches-du-Rhône. Il s'étale sur 1670 hectares, emploie directement 2100 salariés CEA et indirectement \approx 2000 salariés par le biais de sous-traitance, répartis dans 480 bâtiments. On dénombre une vingtaine d'INB (Installation Nucléaire de Base) parmi les structures du Centre.

Le Centre de Cadarache est un établissement appartenant à la Direction de l'Énergie Nucléaire (DEN). Cependant, il présente la particularité d'héberger l'ensemble des pôles opérationnels.

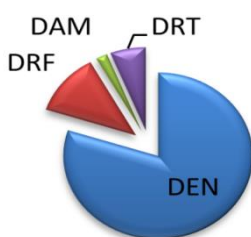


Figure 2 - Répartition des différentes directions CEA sur le centre de Cadarache

DAM : direction des applications militaires

DEN : Direction de l'énergie nucléaire

DRF : Direction de la recherche fondamentale

DRT : Direction de la recherche technologique

De par la diversité de ses activités, le centre de Cadarache possède un large panel de risques. La sûreté, la sécurité, l'environnement et la qualité sont des valeurs essentielles. Le centre tri-certifié s'appuie sur des référentiels normatifs tels que l'ISO 9001 et 14001 ainsi que l'OHSAS 18001. Il est à noter que cette dernière norme est en restructuration et est renommée ISO 45001. Sa date de publication est prévue en décembre 2017.

Acteur de la recherche, du développement et de l'innovation, le centre de Cadarache s'appuie sur de nombreuses plateformes de recherches telle que le Réacteur Jules Horowitz, l'institut de biosciences et biotechnologies ou encore le Tokamak WEST, basé à l'institut de recherche sur la fusion par confinement magnétique.

C. Institut de Recherche sur la Fusion par confinement Magnétique

1. Généralités

L'IRFM est une installation rattachée à la Direction de la Recherche Fondamentale.

Environ 300 salariés évoluent dans les 23 bâtiments de l'IRFM, ce qui représente 33 000 m² de surface construite.

Le personnel de cet institut travaille sur une source d'énergie nouvelle : la fusion par confinement magnétique. Les activités de cette installation se développent autour de trois axes majeurs :

- Contribuer à la réalisation du projet ITER.
- Etablir des bases du futur réacteur de fusion.
- Préparer l'opération scientifique ITER à travers des activités d'expérimentation et de contrôle ainsi que de théorie et de modélisation.

2. Activités de l'IRFM

Le dynamisme de l'IRFM repose sur l'activité de nombreuses plateformes de recherche et de développement. On peut notamment retrouver le Tokamak WEST, en activité depuis 1988, pleinement dédié à l'étude de la physique et des technologies des réacteurs à fusion. La principale caractéristique du Tokamak WEST est son système d'aimants supraconducteurs toroïdaux qui permet de générer un champ magnétique permanent. Quant aux bobines poloïdales, elles permettent de contrôler la position du plasma dans l'enceinte à vide.

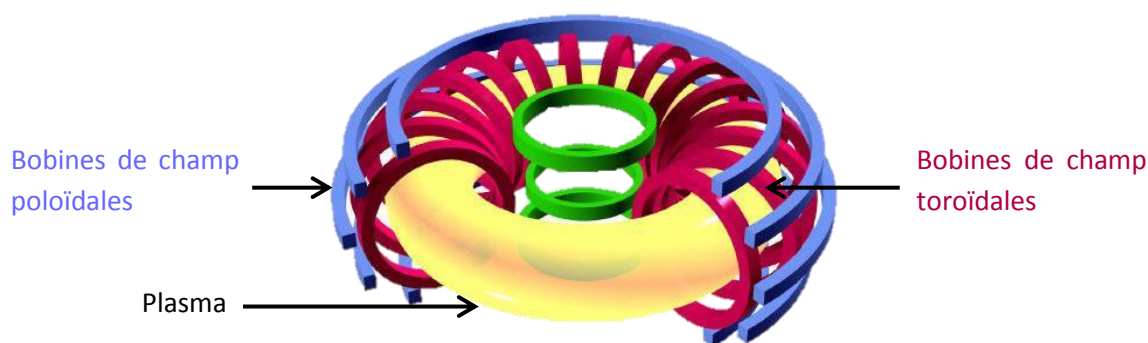


Figure 3 - Illustration du plasma avec son champ magnétique créé par les bobines

Depuis sa construction, cette machine expérimentale ne cesse d'évoluer, dans le but d'optimiser les recherches. La dernière évolution porte le projet WEST pour Tungsten (W) Environnement Steady-state Tokamak dont l'objectif principal consiste à implanter un divertor en tungstène dans le Tokamak. Ce nouveau composant permet de récupérer la chaleur créée par le plasma via des composants activement refroidis.

Une telle restructuration de la chambre à vide amène volontairement une nouvelle configuration de la forme du plasma. Il adoptera une allure de D, abandonnant sa forme circulaire.

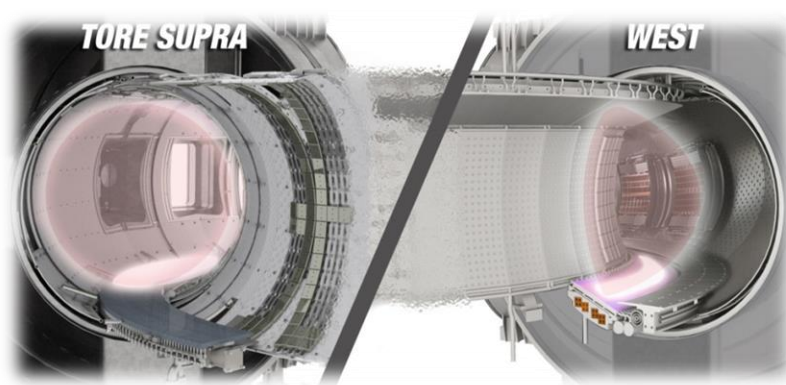
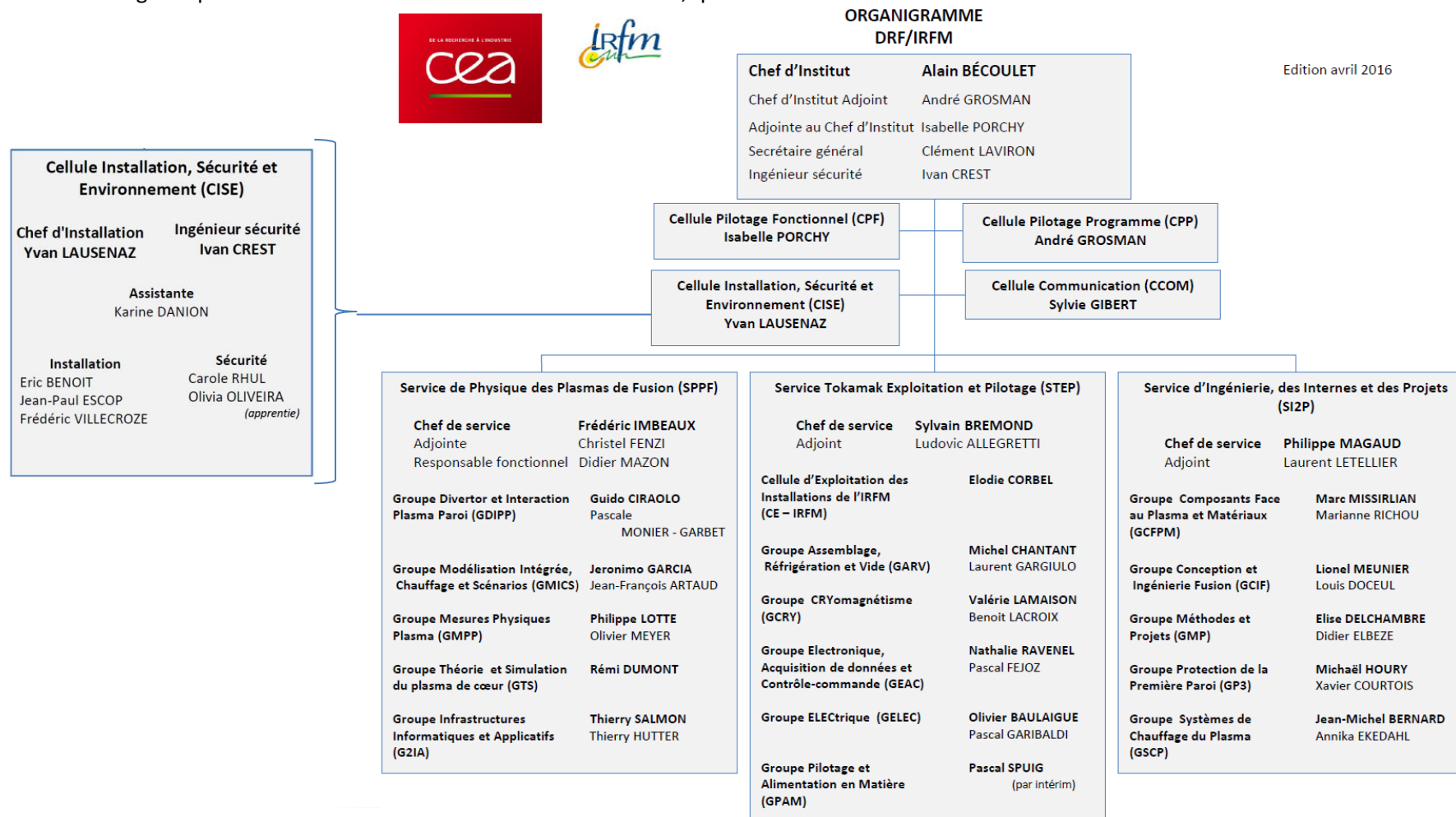


Figure 4 - Modification de la structure interne du tokamak, pour le projet WEST

3. Organisation de l'IRFM

Le personnel de l'IRFM est rattaché à différents services dans lesquels se trouvent des groupes métiers, ou à des cellules. La partie sécurité et environnement est gérée par la Cellule Installation Sécurité Environnement, qui est directement rattachée à la direction de l'Institut.



II. Fumées de soudage

A. Origine des fumées de soudage

Lors de l'utilisation d'un poste à souder, des fumées de soudage sont dégagées. L'élévation importante de la température générée par le poste à souder est le facteur indispensable dans la formation de ces fumées.

Le poste est alimenté par un courant électrique, circulant jusque dans une électrode. Mise en contact avec les pièces à souder, l'électrode va laisser passer le courant afin de fermer le circuit électrique grâce à la conductivité électrique des métaux. La circulation du courant se traduit par la formation d'un arc électrique exothermique. La chaleur délivrée fait fondre le métal d'apport et permet ainsi de lier les deux pièces et créer la soudure souhaitée.

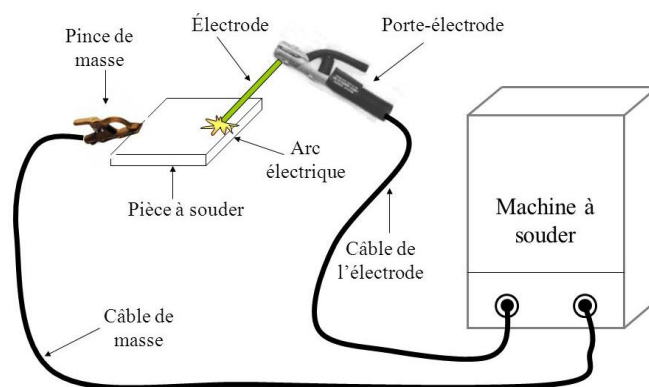


Figure 6 - Schéma d'un poste à souder

Il existe différents types de postes à souder à l'arc :

- **Poste à souder à l'arc** : cet arc électrique génère une chaleur allant jusqu'à 3 600 °C à l'endroit souhaité.
- **Poste à souder MIG-MAG** : cet arc électrique génère une importante chaleur jusqu'à 3 600 °C à l'endroit souhaité. La particularité de ce procédé est la diffusion pendant le soudage d'un gaz de qui protège le bain de fusion de l'oxydation par l'air ambiant. Le gaz de protection utilisé est souvent l'argon.
- **Poste à souder TIG** : la naissance d'un court-circuit fait monter l'intensité du courant et provoque un arc électrique entre une électrode en tungstène et les pièces à souder. Cet arc électrique génère une chaleur allant jusqu'à 4 500 °C juste au point souhaité. La particularité du poste à souder TIG est la diffusion pendant le soudage d'un gaz de protection sur la zone à souder, souvent de l'argon également.
- **Poste à souder inverter** : le soudage à l'arc nécessite une tension assez faible de 50 à 70 V environ, mais une importante intensité de plusieurs centaines à plusieurs milliers d'ampères. Ce poste à souder est un transformateur électronique basse tension (230-400 volts) vers très basse tension régulant en continu la puissance la plus adaptée.

Dans ce document, le soudage TIG est exclusivement abordé, du fait de son importante utilisation au sein de l'IRFM.

B. Composition des fumées de soudage

Les fumées de soudage se composent de gaz et de poussières issus de deux processus physiques différents :

- La combustion de particules présentes à la surface des métaux, générant alors des gaz de combustion.
- La fusion des métaux générant la libération de particules piégées dans les revêtements de surface des métaux.

Le métal d'apport est à l'origine de 95% des fumées de soudage produites. Le métal de base et le revêtement constituent les 5% restant.

La nature des gaz et des particules émis dans les fumées de soudage dépend entièrement de la composition des métaux de base et d'apport utilisés. Voici quelques exemples :

Types de particules	Source	Effet sur la santé
Aluminium	Éléments en aluminium de certains alliages	Irritant des voies respiratoires
Plomb	Brasure, alliage de laiton et de bronze. Apprêt/revêtement sur les aciers	Effets chroniques sur le système nerveux, les reins, le système digestif et les capacités intellectuelles. Peut causer le saturnisme
Oxydes de fer	Le principal contaminant de tous les procédés de soudage pour l'acier et le fer	Sidérose (forme bénigne de maladie pulmonaire causée par des particules déposées dans les poumons)
Chrome	La plupart des aciers inoxydables et les matériaux fortement alliés, les baguettes de soudage.	Risque accru de cancer du poumon. Certaines personnes peuvent développer une irritation de la peau.
Nickel	Acier inoxydable, baguettes de soudage et acier plaqué	Effet aigu : irritation des yeux, du nez et de la gorge. Un risque accru de cancer a été observé. Les fumées contenant du nickel sont également associées à des dermatites et des troubles pulmonaires.
Zinc	Métal peint et galvanisé	Maladie des fondeurs du laiton

Types de gaz	Source	Effet sur la santé
Monoxyde de carbone	Se forme dans l'arc de soudage	Gaz absorbé rapidement dans la circulation sanguine qui provoquent l'inconscience suivie du décès en cas de concentrations élevées
Ozone	Se forme dans l'arc de soudage, particulièrement durant le soudage au plasma, au MIG ou au TIG.	Accumulation de liquides dans les poumons et hémorragie. De très faibles concentrations entraînent des maux de têtes et la sécheresse des yeux.
Déficience d'oxygène	Soudage dans les espaces clos et déplacement de l'air par le gaz de protection	Etourdissement, confusion mentale, asphyxie et mort.
Phosphine	Métal revêtu d'un antirouille (réaction entre l'antirouille et l'arc de soudage)	Irritant pour les yeux et les voies respiratoires. Les vapeurs peuvent notamment causer des dommages aux reins.

Tableau 1 - Composants possibles des fumées de soudage et leurs effets sanitaires

1. Thermodynamique et réaction de fusion

a) Changement d'état physique

Un métal est un corps solide dont les caractéristiques atomiques internes sont bien spécifiques. En effet, la structure atomique de ces matériaux est à l'état ordonné (contrairement aux liquides et gaz). Les éléments constitutifs du métal (atomes, ions et molécules) suivent un ordre spatial précis et régulier appelé le cristal, on parle alors d'état cristallin. Les liaisons physiques entre les atomes et/ou molécules sont assez fortes pour maintenir la solidité du métal.

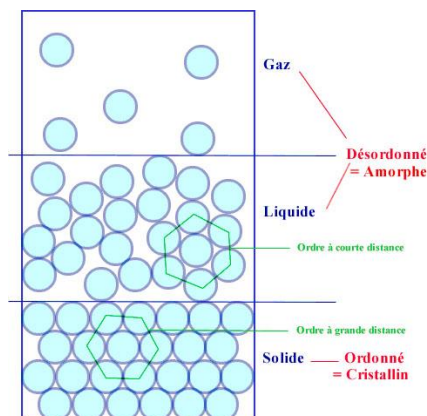


Figure 7 - Placement des molécules selon les différents états de la matière

La fusion représente le passage d'un matériau solide à l'état liquide. Afin de changer cet état physique, il est nécessaire de modifier la structure interne du matériau. Dans ce cas précis, afin de liquéfier un métal, le désordre atomique de l'état liquide est recherché.

b) Thermodynamique

A pression constante, l'augmentation de température apportée par le poste à souder réduit l'énergie des liaisons physiques présentes dans un corps solide, jusqu'à la rendre faible voire nulle. Une fois les liaisons cassées ou très faibles, les molécules sont libres de se déplacer dans le corps. La structure ainsi modifiée et désordonnée permet d'obtenir un matériau à l'état liquide.

La température à laquelle un corps peut se liquéfier est appelée température de fusion, noté T et exprimée en degré Kelvin (°K) ou en degré Celsius (°C).

Voici quelques exemples de températures de fusion en fonction des métaux :

Métal	Symbole chimique	Température de fusion (°C)
Aluminium	Al	660
Argent	Ag	960
Carbone	C	3700
Chrome	Cr	1870
Fer	Fe	1535
Nickel	Ni	1455
Tungstène	W	3410

Tableau 2 - Températures de fusion de certains métaux

2. Réaction de combustion

Lors du processus de soudage, le métal entre en fusion sous l'effet de la chaleur intense apportée. Cependant, une faible quantité de matière brûle, et ainsi subit une combustion, dégageant des gaz de combustion, formant une partie des fumées de soudage.

a) A l'échelle macroscopique

La combustion est une réaction chimique exothermique, reliant trois éléments :

- Le combustible : élément subissant la combustion, tout ce qui est capable de brûler.
- Le comburant : substance chimique permettant la combustion, souvent le dioxygène (O₂).
- L'énergie d'activation : énergie déclenchant la combustion.

Lors d'opération de soudage, le combustible est le métal d'apport. Le comburant est l'air ambiant ou des gaz inertes dans des cas précis. L'énergie d'activation quant à elle est apportée par l'arc électrique provoqué.

En l'absence d'un de ces composants, la combustion ne peut pas se produire. Le triangle du feu est un modèle couramment utilisé pour représenter le phénomène de combustion.

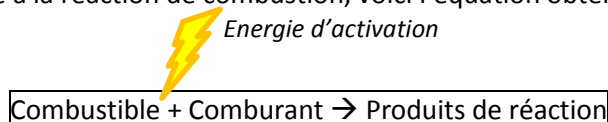


Figure 8 - Triangle du feu

b) A l'échelle moléculaire

Toute réaction chimique se traduit par la transformation de matières réactives, en d'autres matières dites produits de réaction ou produits de combustion.

En appliquant ce principe à la réaction de combustion, voici l'équation obtenue :



Les produits de la réaction dépendent entièrement de la nature des combustibles ayant réagi. Voici quelques exemples de réaction de combustion :

- $\text{C}_3\text{H}_8 + 5 \text{O}_2 \rightarrow 3 \text{CO}_2 + 4 \text{H}_2\text{O}$ combustion du propane.
- $\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$ combustion du carbone.
- $\text{CH}_4 + 2 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ combustion du méthane.

3. Deux composés ciblés

Parmi les composés potentiellement présents dans les fumées de soudage, deux seulement sont étudiés dans ce document : le chrome VI et le nickel.

L'étude de ces deux éléments est intéressante pour les raisons suivantes :

- Ils présentent un risque de cancérogénicité important et avéré.
- Ils sont systématiquement présents dans les fumées de soudage lorsque le métal utilisé est de l'inox (métal le plus utilisé pour la construction du tokamak WEST).
- Facilité de prélèvement.

a) Chrome VI ou chrome hexavalent

Le tokamak WEST est constitué essentiellement de métaux inoxydables, notamment d'inox 316L. Lors de sa fabrication, des revêtements comportant du chrome VI sont déposés sur le métal, servant de protection anodique de corrosion. Cette technique est appelée chromatisation ou passivation.

Lorsque la matière rentre en fusion (liquéfaction permise par la diminution des énergies de liaison), des particules de chromes VI sont libérées et se retrouvent liées aux fumées de soudage. Ces particules sont alors inhalables par l'opérateur.

Considéré comme un agent cancérigène pour l'Homme, le chrome VI est classé dans le groupe 1 par le CIRC (Centre International de Recherche sur le Cancer). En effet, le lien entre l'exposition et le cancer du poumon a été établi scientifiquement. Ci-dessous le tableau de classement des agents cancérigènes.

Classe d'agent	Critères de détermination
Groupe 1A	Agent dont le potentiel cancérigène pour l'être humain est avéré
Groupe 1B	Agent dont le potentiel cancérigène pour l'être humain est supposé
Groupe 2	Substance suspectée d'être cancérigène pour l'Homme

Tableau 3 - Classement des agents CMR selon le règlement CLP

Les effets néfastes identifiés suite à l'exposition au chrome VI sont localisés sur l'appareil respiratoire (nez, gorge, œsophage, poumons). De manière moins fréquente, des dermatites de contact allergiques ont pu être observées (inflammation locale de la peau).

b) Nickel

Le nickel est ajouté dans les revêtements des aciers inoxydables afin d'améliorer les propriétés mécaniques, comme la ductilité (capacité d'un matériau à se déformer sans se rompre).

En présence d'oxygène et de forte température, le nickel crée des oxydes de nickel selon la réaction suivante : $2 \text{Ni} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{NiO}$. Confondus dans les fumées de soudage, les oxydes de nickel peuvent être inhalés par l'opérateur.

Les oxydes de nickel, agents cancérigènes certains pour l'Homme, sont classés dans le groupe 1 du CIRC. Les effets néfastes observés, sont localisés sur l'appareil respiratoire (cavités nasales, poumons et fibres des poumons).

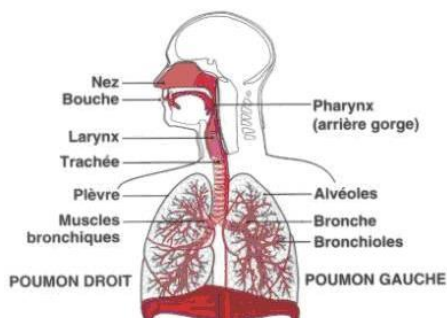
Quant aux maladies professionnelles engendrées par l'exposition aux oxydes de nickel, le régime de la sécurité sociale a établi le tableau N° 37 ter RG.

C. Système respiratoire

L'appareil respiratoire permet des échanges gazeux entre l'organisme et l'environnement, amenant les molécules vitales présentes dans l'air tel que l'O₂.

1. Structure

Afin d'assurer sa fonction, l'appareil respiratoire se compose de différents organes.



L'air, aspiré par le nez et/ou la bouche, traverse l'appareil respiratoire et termine son chemin dans les alvéoles pulmonaires, organes dans lequel se déroulent les échanges gazeux.

Figure 9 - Représentation de l'appareil respiratoire humain

Trop petites (de l'ordre du nanomètre), les particules inhalées ne sont pas stoppées par les barrières naturelles des voies pulmonaires comme les poils ou le mucus nasal. Elles tombent et s'accumulent dans les alvéoles pulmonaires.

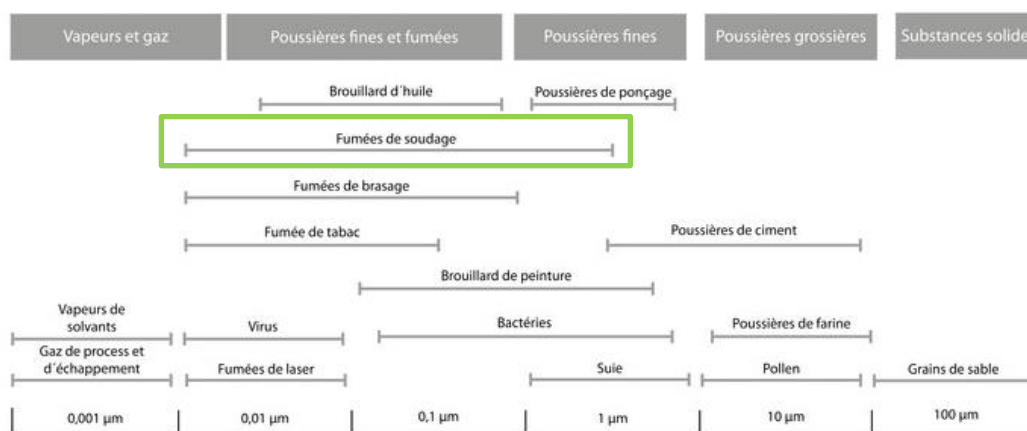


Figure 10 - Dimensions des différentes particules présentes dans l'air

2. Impacts des fumées l'appareil respiratoire

Lors de l'émission de fumées de soudage, l'appareil respiratoire inhale ces fumées et donc tous les composants présents.

Les effets sanitaires que peut engendrer l'inhalation des fumées de soudage sont divers :

- Irritation des voies respiratoires
- Pneumonie
- Cancer des voies respiratoires
- Maux de tête
- Bronchite
- Etourdissement

MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES

Le risque de cancer dépend des composants présents dans les fumées de soudage. En effet, en fonction des caractéristiques chimiques des composants, des cassures des brins d'ADN (acide désoxyribonucléique), peuvent avoir lieu. L'ADN est une macromolécule biologique qui représente le support de l'information génétique chez tous les êtres vivants et qui se situe dans le noyau de chaque cellule. Cette molécule est formée de deux hélices, enroulées l'une autour de l'autre qui comportent de petites molécules appelées nucléotides, qui peuvent être de 4 sortes :

- A : Adénine
- T : Thymine
- G : Guanine
- C : Cytosine

Les séquences (succession) de nucléotides forment des codes génétiques, porteurs de l'information génétique, c'est-à-dire des divers caractères de l'être humain.

L'organisme est constitué d'une manière telle qu'il est capable de réparer les cassures causées par les mutations sur l'ADN. Cependant, à force d'expositions répétées à un agent extérieur agressif, quelques mutations passent inaperçues. La cellule initiale touchée par cette modification génétique va acquérir un comportement, une croissance et un fonctionnement anormal, ce qui la caractérise de cellule cancéreuse. Le principe de multiplication cellulaire va continuer mais va cette fois-ci développer des cellules modifiées et créer une masse cancéreuse.

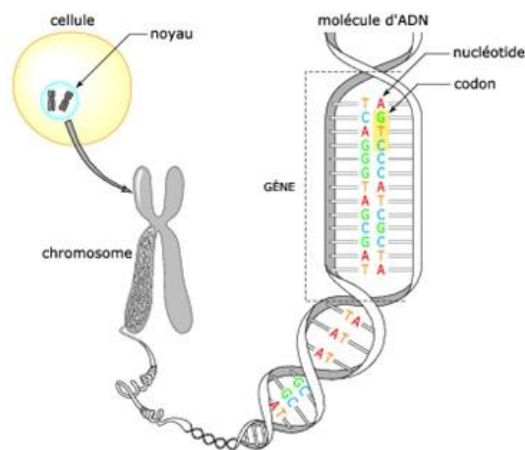
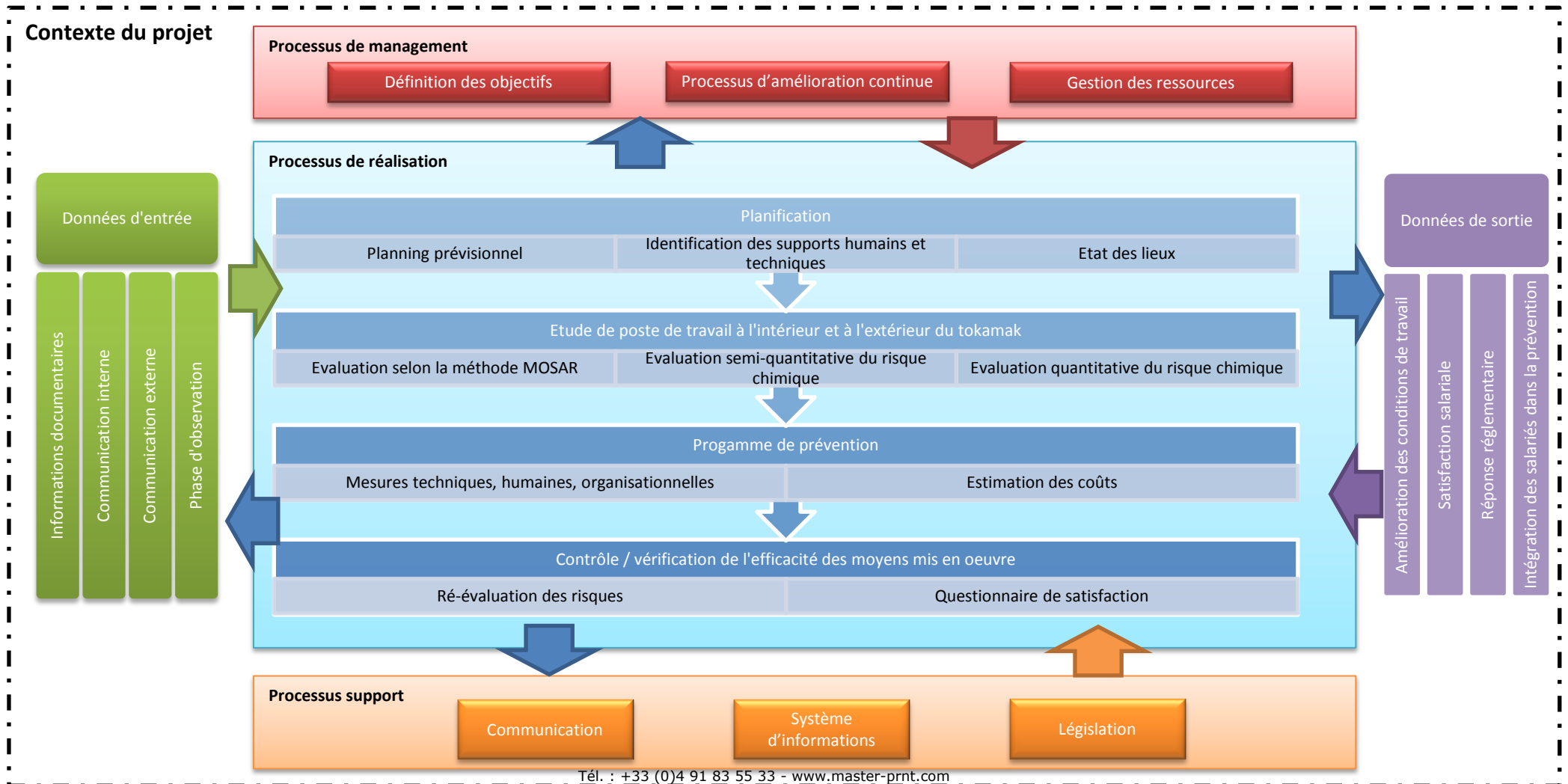


Figure 11 - Composition de l'ADN

III. Traitement de la thématique

Dans la gestion de projet, cartographier les processus est une étape préliminaire indispensable. C'est une manière d'établir une vue d'ensemble de l'organisation globale d'un projet. La cartographie de processus permet d'identifier les interactions entre les différentes étapes du projet.



A. Contexte du projet

Dans le domaine de l'énergie et du nucléaire, le projet ITER a vu le jour en 1988. Le but d'ITER est de confirmer la faisabilité scientifique et technique de la fusion nucléaire comme génératrice d'énergie. Dans ce cas, la fusion est utilisée comme une source de chaleur, transformant de l'eau en vapeur d'eau. Sur le même principe que celui des centrales nucléaires actuelles, la vapeur d'eau entraîne des alternateurs produisant de l'électricité.

Afin de garantir la maîtrise des risques opérationnels et techniques liés à la mise en place d'un divertor en tungstène dans le réacteur expérimental ITER, le projet WEST est établi. Pour cela, le tokamak de recherche et de développement Tore Supra, a subi une restructuration interne importante. Le tokamak Tore Supra, rebaptisé WEST, représente ainsi une plateforme d'essais, de recherche et développement essentielle pour ITER. Cette étape a nécessité un nombre de soudures conséquent, de l'ordre de plusieurs centaines.

Cette activité professionnelle expose les travailleurs à des substances pouvant causer des dommages sanitaires. Afin de prévenir des pathologies liées, le ministère du travail a imposé des valeurs seuils à respecter appelées VLEP : Valeur Limite d'Exposition Professionnelle. Ces quantités seuils sont les concentrations d'agents chimiques dans l'atmosphère des lieux de travail que peut inhaler un travailleur pendant un temps déterminé, sans que la situation présente un risque sanitaire. Elles représentent alors un critère dans l'évaluation des risques professionnels.

Il existe à ce jour deux types de VLEP, à savoir :

- VLEP réglementaire contraignante fixée par arrêté en application de l'article R 4412-149 du code du travail.
- VLEP réglementaire indicative, fixées par arrêté en application de l'article R 4412-150 du code du travail et doivent être considérées comme des objectifs minimaux de la prévention.

Pour chaque agent, la VLEP peut être mesurée de deux manières :

- Sur une période de 8h, appelée VLEP 8h : valeur représentant la moyenne pondérée de l'exposition durant 8h de travail.
- Sur une période courte de 15 minutes maximum, appelée VLEP ct (court terme).

Les VLEP des deux éléments ciblés dans cette étude sont :

	VLEP 8h	VLEP ct
Chrome VI (hexavalent)	0.001 mg/m ³ d'air	0.005 mg/m ³ d'air
Nickel	1 mg/m ³ d'air	/

Tableau 4 - Les VLEP du chrome et du nickel

Afin de déterminer si les conditions de travail sont optimales, des études de poste sont réalisées. Lorsque des points critiques sont identifiés, ils doivent être traités dans les plus brefs délais.

B. Données d'entrée et de sortie du processus

1. Données d'entrée

Les données d'entrée sont les documents, les informations et tous autres éléments qui permettent de démarrer le projet. Dans le cas présent, quatre données d'entrées sont identifiées :

- **Information documentaire** : la phase de recherche d'informations a permis d'établir une base de connaissances solide sur le sujet. Cette phase de recherches a permis l'établissement d'une carte heuristique autrement appelée carte cognitive ou carte mentale. Ce type de document permet d'identifier les liens qu'il existe entre les différentes informations d'un sujet. La création d'une carte heuristique permet à la fois de :
 - Organiser les informations reliées autour du sujet choisi, le poste de travail du soudeur dans ce cas précis. L'organisation des données s'est effectuée selon la méthode des 5M : Main d'œuvre, Matériel, Matière, Méthode et Milieu.
 - ✓ Pour le cas étudié, la partie concernant la main d'œuvre s'attarde sur les compétences ainsi que les qualifications des soudeurs.
 - ✓ La branche du matériel développe ce qui est lié à tous équipements ou fluides utilisés par les soudeurs lors de leur activité, à savoir : l'électricité, le poste à souder, l'extincteur, l'oxygénomètre, la ventilation, les EPI (Equipements de Protection Individuelle) et les EPC (Equipements de Protection Collective).
 - ✓ En ce qui concerne le groupe matière, les différents produits utilisés par les soudeurs sont étudiés, notamment le métal de base ou d'apport (avec un focus sur l'inox 316L qui est le métal le plus utilisé à l'IRFM). Les fumées de soudage, les pointes de tungstène ainsi que les revêtements apposés aux métaux de travail sont développés également.
 - ✓ La méthode de travail reflète les différentes techniques de soudage existantes. A l'IRFM, la plus utilisée est le TIG (Tungsten Inert Gas). Le développement cognitif s'axe donc sur ce procédé, mais également sur les procédures spécifiques mises en place par l'IRFM ainsi que sur les risques liés à l'exposition aux UV.
 - ✓ Enfin, le milieu de travail développe les différents environnements de travail possibles des soudeurs de l'IRFM notamment : le travail en hauteur, en milieu confiné, en milieu activé, à l'air libre, ou encore avec une présence accrue d'argon lorsque des soudures avec chambrage sont réalisées.
 - Identifier les points importants, qui reviennent à plusieurs reprises, dans des branches différentes. Les informations récurrentes sont des mots-clés pour l'étude effectuée.
 - Constituer une base d'informations, servant d'outils de travail et permettant de rechercher rapidement une donnée.

La carte heuristique réalisée fait l'objet de l'annexe 1.

MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES

- **Communication interne** : Afin de cibler correctement la problématique, un travail préliminaire basé sur la communication est mis en place. Au cours d'une réunion accueillant les principaux soudeurs de l'IRFM, un questionnaire leur est présenté (voir en annexe 2). Ceci ayant pour but :
 - Apprécier leur ressenti quant à leurs conditions de travail.
 - Obtenir des connaissances supplémentaires sur les processus de soudage, grâce à leur œil d'expert.
 - Les impliquer au plus tôt dans la prévention pour leur poste de travail.
- **Communication externe** : la phase préliminaire de recherches documentaire nécessite des connaissances pointues sur des sujets techniques, notamment sur les aspects suivants : génotoxicité, combustion et thermodynamique. Pour cela, il a été nécessaire de faire appel à des experts tels que :
 - Un médecin généraliste.
 - Un sachant en biogénotoxicologie : co-responsable du secteur biogénotoxicologie et santé humaine de l'IMBE.
 - Un professeur chercheur spécialisé dans la chimie moléculaire au sein de l'URCA.
- **Phase d'observation** : l'observation du poste de travail des soudeurs est essentielle pour mieux connaître leur manière de travailler. Cette étape a permis d'identifier plusieurs points clefs :
 - La difficulté des tâches à accomplir dans un environnement complexe tel que le tokamak : ergonomie, luminosité, volume restreint, pièces à souder difficilement accessibles ...
 - Les travailleurs présents dans le tokamak se sentent « coupés du monde ».
 - La coactivité peut s'avérer difficile à gérer.

2. Données de sorties

Les données de sortie sont les documents, les informations et tous autres éléments qui résultent d'un projet. Dans le cas présent, quatre données de sortie sont recherchées :

- **Amélioration des conditions de travail** : l'ensemble des processus converge vers un objectif principal qui est d'optimiser les conditions de travail des soudeurs, que ce soit à l'intérieur ou à l'extérieur du tokamak.
- **Satisfaction salariale** : le fait de s'intéresser aux conditions de travail engendre chez les salariés un sentiment de reconnaissance et de valorisation. Ceci contribue au bien être mental des travailleurs concernés.
- **Réponse réglementaire** : la santé et la sécurité des travailleurs est régie par le Code du Travail. L'employeur a l'obligation de préserver la santé physique et morale de ses salariés, quels que soient les moyens utilisés. La prévention des risques constitue une des mesures disponibles pour l'employeur et lui permettant de répondre en partie à cette obligation réglementaire.
- **Intégration des salariés dans la prévention** : La prévention des risques professionnel doit se mettre en place et être intégrée à tous les échelons de l'entreprise : du salarié au directeur. Lorsque la prévention est admise à tous les niveaux, la culture sécurité et prévention est renforcée et impacte directement le nombre d'accidents de travail. Dans un spectre plus large, ceci permet à l'entreprise de faire des économies, d'améliorer son image.

C. Processus de management

Le processus de management garantit le bon déroulement de toutes les étapes du projet. Il a essentiellement pour but de définir et déployer les objectifs à atteindre et de gérer l'amélioration continue. Le pilotage intègre également l'identification et la gestion des ressources utilisées.

Dans le cas présent, les objectifs définis sont :

- Réaliser une étude sur les fumées de soudage.
- Evaluer les conditions de travail des soudeurs.
- Améliorer les conditions de travail des soudeurs.
- Intégrer la prévention des risques professionnels à tous les échelons.

L'amélioration continue intégrée à la gestion de projet consiste à améliorer continuellement toutes les actions mises en place quel que soit le processus touché (management, support ou réalisation). L'effort d'amélioration est constant, et impacte l'ensemble du projet : de la base jusqu'à la finalité. L'amélioration continue est intégrée dans ce projet par des rétrocontrôles permanents et la mise en place de corrections le cas échéant.

Quant aux ressources d'un projet, elles peuvent être :

- Matérielles → ce sont les ressources du type machines, bâtiments et terrains. Concrètement, le tokamak ainsi que tous les ateliers de travail sont compris dans ce genre de ressources.
- Financières → dans ce projet, le financement des actions mises en place est permis grâce au budget sécurité de l'installation.
- Humaines → cette ressource comporte la gestion des compétences, la formation et la qualification des acteurs du projet (soudeurs, chef de groupe, ingénieurs sécurité).

Le processus de management est à l'origine de l'organisation globale. Mais l'établissement d'un projet est aussi possible grâce au processus de réalisation et au processus support.

D. Processus support au projet

Le processus support contribue à la réalisation et au bon déroulement du projet. Il comporte et met à disposition les éléments indispensables qui seront utilisés tout au long du projet, à savoir :

- La communication → elle peut être interne ou externe. Dans le cas présent, la communication interne passe par les échanges ayant lieu entre les différents acteurs : chef de groupe, techniciens, ingénieurs sécurité, chef d'installation.
- Système d'informations → ce système regroupe tous les organes permettant le passage ou la recherche d'informations. Ceci représente essentiellement l'informatique (appareils et réseaux).
- Législation → elle guide le responsable projet à travers différents textes tels que : le code du travail, les normes, les directives ...

E. Processus de réalisation

1. Planification

Dans la démarche de gestion de projet, la planification est la première étape. Elle permet de coordonner les différentes étapes et de contrôler la bonne exécution des phases de travail et ainsi l'atteinte des objectifs.

Un diagramme de type Gantt est un document réalisable lors de cette étape. Ce planning indique les tâches à réaliser ainsi que la durée associée à celle-ci. La date de début et de fin du projet sont clairement identifiées.

La phase de planification permet également d'identifier les supports humains et techniques nécessaires à la réalisation du projet. Enfin, cette étape permet de faire l'état des lieux de l'existant au départ du projet.

Voir annexe 3 : diagramme de Gantt du projet

2. Etude de poste de travail

L'étude de poste est réalisée sur l'activité de soudure, dans deux environnements de travail distincts : poste de travail classique et dans l'enceinte du tokamak.

Réaliser cette étude dans deux milieux différents permet de révéler si les risques professionnels sont plus importants sur un des deux postes.

a) Présentation de la méthode MOSAR

La méthode MOSAR est celle employée par le CEA pour l'évaluation des risques professionnels. Elle est basée sur la pondération de la fréquence d'exposition au risque ainsi que sur la gravité du dommage potentiellement causé, selon les indicateurs suivants :

Fréquence	Gravité
1 : Fréquence < 10%	1 : Accident bénin
2 : $10\% \leq F < 30\%$	2 : Accident sans arrêt de travail et sans incapacité
3 : $30\% \leq F < 70\%$	4 : Accident avec arrêt de travail sans incapacité partielle permanente (IPP)
4 : Fréquence $\geq 70\%$	16 : Accident suivi d'une IPP de travail ou accident mortel

Cette méthode définit dans un premier temps un risque absolu, obtenu par la lecture d'une matrice, en fonction des pondérations attribuées à la fréquence et à la gravité du risque évalué.

		Fréquence d'exposition			
		1	2	3	4
Gravité	16	R3	R3	R3	R3
	4	R1	R2	R2	R3
	2	R0	R1	R2	R2
	1	R0	R0	R1	R1

MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES

Dans un deuxième temps, le risque résiduel est calculé. Pour cela, la fréquence et la gravité sont à nouveau pondérées, en prenant en compte les moyens de maîtrise mis en place. Le résultat du risque résiduel représente le croisement dans la matrice de la fréquence et de la gravité pondérées avec les moyens de prévention mis en place.

Description de l'opération de l'activité, de la tâche	Code Grille	Famille de danger et description de l'évènement redouté	F	G	Résultats FXG	Risque Absolu	Eléments de maîtrise en place	F	G	Résultats F x G	Risque Résiduel	
						Initial						Résiduel

Enfin, les actions de prévention à mettre en place dépendent de la priorité du risque résiduel :

- En cas de risque R3, des actions immédiates doivent obligatoirement être mises en place.
- En cas de risque R2, des actions d'amélioration doivent obligatoirement être mises en place.
- En cas de risque R1, un plan d'amélioration est souhaitable.
- Enfin, en cas de risque R0, le risque résiduel est considéré comme négligeable donc acceptable.

L'application de cette méthode a permis d'identifier des risques professionnels prioritaires :

Environnement de travail classique	Enceinte à vide
Source de toxicité CMR liée à l'inhalation des fumées de soudage	Source de toxicité CMR liée à l'inhalation des fumées de soudage
<i>Remarque : Voir l'ensemble des EvRP en annexe 4.</i>	Contraintes liées aux équipements de conception du poste de travail : postures de travail très contraignantes

Les résultats de ces EvRP impliquent la réalisation des Evaluations du Risque Chimique correspondantes afin de déterminer le niveau de risque lié à l'exposition aux agents CMR, aussi bien dans un environnement de travail classique, que dans le tokamak. Concernant les contraintes liées aux équipements de conception du poste de travail, des mesures d'amélioration doivent obligatoirement être mises en place.

a) Evaluation du risque chimique des postes de travail

L'évaluation du risque chimique s'inscrit dans le cadre d'une obligation réglementaire, donnant lieu à une évaluation annuelle des risques professionnels auxquels s'exposent les travailleurs. Cette obligation est encadrée par l'article R 4412-5 du code du travail. Le texte stipule que l'employeur « évalue les risques encourus pour la santé et la sécurité des travailleurs pour toute activité susceptible de présenter un risque d'exposition à des agents chimiques dangereux ».

En réponse à cette obligation réglementaire, le CEA utilise une méthode d'évaluation du risque chimique qui se réalise en deux étapes (voir détail de la méthode d'évaluation du risque chimique en annexe 5). La première étape est une évaluation semi-quantitative du risque chimique. La seconde étape est une évaluation quantitative du risque, réalisée avec des mesures de polluants au poste de travail. L'application de cette méthodologie d'évaluation a mené aux résultats présentés ci-après.

• **Etape 1 : évaluation semi-quantitative**

L'évaluation semi quantitative permet de déterminer un premier niveau de risque, allant de R1 pour le plus faible à R3 pour le risque le plus élevé.

- Evaluation du risque chimique dans des conditions de travail classiques :

Produit(s)	Tâche(s) et localisation	Etat physique	Fréquence d'exposition	Durée (min)	Modalités de mise en œuvre	Phrase(s) de risque	Symbole	Risque(s)	Tension de vapeur	Indice de danger	IC	ID	IF	IPC	IP=IC+ID+IF+IPC	Résultat
Fumées de soudage CMR 2	Atelier de soudure	Aérosol	> 1jour/semaine	> 45 min	Ventilation locale efficace	pas de phrase(s) de risque	NC	CMR 2	NC	5	1	0	0	-1	2	R3
Chrome hexavalent CMR 1	Atelier de soudure	Aérosol	> 1jour/semaine	> 45 min	Ventilation locale efficace	pas de phrase(s) de risque	NC	CMR 1	NC	5	1	0	0	-1	2	R3
Nickel CMR 1	Atelier de soudure	Aérosol	> 1jour/semaine	> 45 min	Ventilation locale efficace	pas de phrase(s) de risque	NC	CMR 1	NC	5	1	0	0	-1	2	R3

- Evaluation du risque chimique dans l'enceinte à vide du tokamak :

Fumées de soudage CMR 2	Tokamak	Aérosol	> 1jour/semaine	> 45 min	Ventilation locale efficace	pas de phrase(s) de risque	NC	CMR 2	NC	5	2	0	0	-1	1	R3
Chrome hexavalent CMR 1	Tokamak	Aérosol	> 1jour/semaine	> 45 min	Ventilation locale efficace	pas de phrase(s) de risque	NC	CMR 1	NC	5	2	0	0	-1	1	R3
Nickel CMR 1	Tokamak	Aérosol	> 1jour/semaine	> 45 min	Ventilation locale efficace	pas de phrase(s) de risque	NC	CMR 1	NC	5	2	0	0	-1	1	R3

• **Etape 2 : évaluation quantitative**

Les agents chimiques qui atteignent un niveau de risque R3 à l'issue de l'étape n°1 doivent faire l'objet d'une évaluation quantitative afin de confirmer les résultats obtenus. Cette étape a pour objectif de vérifier que la concentration d'aérosol inhalable au poste de travail reste acceptable.

Les mesures se font à l'aide du matériel suivant :



Figure 12 - Matériel utilisé lors des mesurages des polluants au poste de travail

Des caissettes raccordées à un filtre spécifique sont disposées sur un harnais. Ce harnais est porté par le salarié et la position du filtre est ajustée afin d'être au plus près des voies respiratoires.

Réalisés par un organisme accrédité, les mesurages effectués révèlent les résultats suivants :

	Rappel VLEP	Environnement de travail classique	Dépassement	Dans l'enceinte à vide du tokamak	Dépassement
Fumées de soudage	5 mg/m ³ d'air	0.1100 mg/m ³ d'air	NON	-	-
Chrome hexavalent	0.001 mg/m ³ d'air	0.0000085mg/m ³ d'air	NON	-	-
Nickel	1 mg/m ³ d'air	0.0013 mg/m ³ d'air	NON	-	-

Tableau 5 - Résultats des mesurages des polluants dans l'environnement de travail

A l'issue de ces mesures, plusieurs situations sont possibles :

Cas des CMR 2	Objectifs	Cas des CMR 1A / 1B	Objectifs
mesure < 10% VLEP Situation A → Risque faible	Garantir que les mesures initialement mises en place restent efficaces	mesure < 10% VLEP Situation D → Risque faible	Mise en place d'un plan de surveillance avec des mesurages périodiques (5 ans de délais maximum)
10% VLEP < mesure ≤ 30% VLEP Situation B → Risque acceptable	Actions d'amélioration de la maîtrise des risques	10% VLEP < mesure ≤ 30% VLEP Situation E → Risque acceptable	Actions d'amélioration de la maîtrise des risques

MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES

<p>mesure > 30 % VLEP Situation C</p> <p>→ Situation indésirable</p>	<p>Mise en place d'actions correctives immédiates afin d'atteindre la situation acceptable SB</p>	<p>mesure > 30 % VLEP Situation F</p> <p>→ Situation indésirable</p>	<p>Mise en place d'actions correctives immédiates afin de d'atteindre la situation acceptable SE</p>
--	---	--	--

Tableau 6 - Récapitulatif des situations possibles à l'issue des mesurages de polluants

L'application de ces conditions mène aux calculs suivants :

Fumées de soudage : 10% de la VLEP = $0.10 \times 5 = 0.5 \text{ mg/m}^3$ d'air

$$\frac{0.11}{5} \times 100 = 2,2\% < 10\% \text{ VLEP}_{\text{Fumées}} \rightarrow \text{Situation A}$$

Chrome hexavalent : 10% de la VLEP = $0.10 \times 0.001 = 0.0001 \text{ mg/m}^3$ d'air

$$\frac{0.0000085}{0.001} \times 100 = 0.85\% < 10\% \text{ VLEP Cr}_{\text{VI}} \rightarrow \text{Situation D}$$

Nickel : 10% de la VLEP = $0.10 \times 1 = 0.10 \text{ mg/m}^3$ d'air

$$\frac{0.0013}{1} \times 100 = 0.13\% < 10\% \text{ VLEP Cr}_{\text{VI}} \rightarrow \text{Situation D}$$

L'évaluation quantitative démontre que les situations de travail sont acceptables puisque les risques sont faibles. Concernant le chrome VI et le nickel, un plan de surveillance avec des mesurages périodiques (5 ans de délais maximum) doit être mis en place. Quant aux fumées de soudage en général, il faut garantir que les mesures de prévention initialement mises en place restent efficaces.

Afin de statuer définitivement sur les risques, des mesurages complémentaires seront à réaliser.

Le planning machine n'a pas permis la réalisation de l'étude quantitative dans le tokamak. Le programme de prévention dans cet environnement de travail sera rédigé sur l'hypothèse suivante : les mesures quantitatives du milieu classique sont similaires à celles qui auraient été obtenues dans le tokamak.

F. Prévention des risques professionnels

1. Généralités

La santé et la sécurité des travailleurs est un sujet incontournable dans le monde professionnel actuel. Cet aspect très important a amené le législateur à rédiger l'article L4121-2 du code du travail :

« L'employeur prend les mesures nécessaires pour assurer la sécurité et protéger la santé physique et mentale des travailleurs.

Ces mesures comprennent :

1° Des actions de prévention des risques professionnels et de la pénibilité au travail ;

2° Des actions d'information et de formation ;

3° La mise en place d'une organisation et de moyens adaptés.

L'employeur veille à l'adaptation de ces mesures pour tenir compte du changement des circonstances et tendre à l'amélioration des situations existantes. »

La mise en place d'actions de prévention est également notifiée par l'article L4121-3 du code du travail. Ce texte stipule que *« l'employeur met en œuvre les actions de prévention ainsi que les méthodes de travail et de production garantissant un meilleur niveau de protection de la santé et de la sécurité des travailleurs »*.

Dans le cas présent, le programme de prévention porte sur les risques identifiés, évalués et hiérarchisés dans les études de postes précédentes. Pour rappel, les risques évalués et les niveaux de priorité correspondants sont :

Emplacement	Risque	Hiérarchisation du risque	Importance du risque
Environnement de travail classique	Source de toxicité CMR liée à l'inhalation des fumées de soudage	R3	Haute
Enceinte à vide	Source de toxicité CMR liée à l'inhalation des fumées de soudage	R3	Haute
	Contraintes liées aux équipements de conception du poste de travail : postures de travail très contraignantes	R2	Moyenne

Tableau 7 - Récapitulatif des risques majeurs

De plus, la prévention des risques professionnels doit être menée selon les 9 principes généraux de prévention, établis par le législateur et déclinés dans l'article L 4121-2 du code du travail. Ces principes sont :

- 1 - Eviter / supprimer les risques.
- 2 - Evaluer les risques qui ne peuvent pas être évités.
- 3 - Combattre les risques à la source.

MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES

4 - Adapter le travail à l'homme, en particulier en ce qui concerne la conception des postes de travail ainsi que le choix des équipements de travail et des méthodes de travail et de production, en vue notamment de limiter le travail monotone et le travail cadencé et de réduire les effets de ceux-ci sur la santé.

5 - Tenir compte de l'état d'évolution de la technique.

6 - Remplacer ce qui est dangereux par ce qui n'est pas dangereux ou par ce qui est moins dangereux.

7 - Planifier la prévention en y intégrant, dans un ensemble cohérent, la technique, l'organisation du travail, les conditions de travail, les relations sociales et l'influence des facteurs ambiants, notamment les risques liés au harcèlement moral et au harcèlement sexuel ainsi que ceux liés aux agissements sexistes.

8 - Prendre des mesures de protection collective en leur donnant la priorité sur les mesures de protection individuelle.

9 - Donner les instructions appropriées aux travailleurs.

Pour finir, les moyens de prévention mis en place peuvent être de trois types :

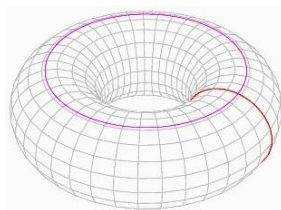
- **Techniques** : ce sont tous les équipements de travail, les locaux, les produits mis en œuvre, les vérifications et contrôles effectués dans la démarche de prévention.
- **Humains** : c'est tout ce qui peut être mis en place concernant le travailleur : qualification, formation, compétence, suivi médical, port des EPI.
- **Organisationnels** : c'est toute l'organisation mise en place dans la prévention : CHSCT, organisation du travail, gestion des entreprises extérieures, organisation des secours, consignes de travail, affichage sécurité ...

L'ensemble de ces dispositions permet la mise en place d'une prévention des risques professionnels optimale. Cependant, les environnements de travail, les matériaux de travail et les enjeux associés aux soudures sont très complexes. En effet, les soudures doivent être irréprochables, solides, et non poreuses. Cela nécessite une technicité, une méthodologie et une maîtrise pointue des procédés de soudage. La prévention mise en place doit protéger les salariés sans impacter la perfection de leur travail.

2. Particularité de l'environnement de travail

Le tokamak est un réacteur expérimental de fusion nucléaire dont les caractéristiques physiques et matériel constituent un environnement de travail contraignant.

Les dimensions et la forme de cette machine prototypique obligent les soudeurs à utiliser des positions de travail atypiques. Le tore, d'un volume de 42 m³ laisse aux intervenants un espace de travail circulaire, d'un diamètre de 1m40.



MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES

De plus, le confinement de cet espace de travail ne permet pas un renouvellement d'air de manière naturelle. De ce fait et sans prévention, les émanations de fumées de soudage restent dans l'enceinte, ce qui produit un environnement de travail toxique.

Le choix de la prévention doit être judicieux pour les raisons suivants :

- Possibilité de mise en place au sein du tore.
- Ne gêne pas la réalisation des soudures.
- Ne trouble pas la qualité des soudures.

3. Prévention de la toxicité CMR des fumées de soudage

La prévention doit être réfléchi et mise en place en s'adaptant à l'environnement de travail, à l'Homme ainsi qu'aux activités professionnelles. De cette manière, les moyens de prévention établis seront différents dans un environnement de travail classique et dans l'enceinte à vide du tokamak.


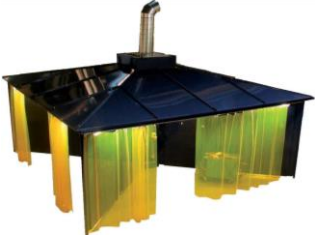

a) Mesures techniques



Les mesures techniques sont celles qui concernent le matériel. Dans le cas étudié, la ventilation est privilégiée. Dans le monde professionnel, deux types de ventilation peuvent être rencontrés :

- La ventilation locale consiste à capter les polluants au plus près de leur source d'émission, avant qu'ils ne pénètrent dans les voies respiratoires du travailleur.
- La ventilation générale fonctionne par dilution des polluants à l'aide d'un apport d'air neuf dans le local de travail. Cette technique permet de diminuer les concentrations des substances toxiques à des valeurs les plus faibles possible.




Remarque : la ventilation générale doit être mise en place en complément d'une ventilation locale, surtout lorsque les polluants concernés sont toxiques. Dans la démarche de prévention, la ventilation locale doit toujours être prioritaire afin de garantir la sécurité des travailleurs.

Voici les mesures de prévention existantes :




Mesures proposées	Illustrations	Avantages	Inconvénients
Robotisation des soudures		<ul style="list-style-type: none"> - Suppression totale de l'exposition aux fumées du soudure - Vitesse de soudage élevée - Contrôle total de l'apport de métal → soudure propre - Possibilité de réglage des soudures 	<ul style="list-style-type: none"> - Impossibilité de mise en place dans le cas de l'IRFM à cause de l'unicité des pièces à souder - Absence de visuel pendant la création de la soudure → manque de contrôle - Encombrant - Maintenance adéquate - Couteux
Cabine de soudage		<ul style="list-style-type: none"> - Exposition aux fumées de soudage quasi nulle - Impossibilité de diffusion des fumées dans l'environnement de travail à proximité - Entretien des locaux facile 	<ul style="list-style-type: none"> - Dimensions de la cabine inchangeables - Débit d'extraction élevé - Encombrant - Dédié à un type de pièces, dans un lieu spécifique - Couteux
Torche aspirante		<ul style="list-style-type: none"> - Captage des polluants à la source - Traitement de la pollution avec un débit d'air réduit - Peu encombrant - Utilisable à n'importe quel poste de travail - Manipulation aisée de la pièce à souder. - Peu couteux - Utilisable dans le tokamak 	<ul style="list-style-type: none"> - Entretien difficile - L'interaction avec le gaz de protection peut engendrer des défauts sur la soudure - Ce type de torche n'existe pas pour les soudures TIG

Mesures proposées	Illustrations	Avantages	Inconvénients
Table ou dossier aspirante		<ul style="list-style-type: none"> - Utilisable lors de n'importe quelle soudure - Aspiration efficace des fumées - Peu encombrant - Peu coûteux - Nettoyage facile du plan de travail 	<ul style="list-style-type: none"> - Impossibilité de tourner autour de la pièce à souder. C'est la pièce qui doit bouger - Dédié à un type de pièces en terme de dimension, dans un lieu spécifique
Bras aspirant		<ul style="list-style-type: none"> - Polyvalence de l'installation - Possibilité d'installer une lumière sur le bras (incitation du soudeur à mettre en route le bras) - Peu coûteux 	<ul style="list-style-type: none"> - Le bras peut gêner le soudeur - Mauvaise position possible donc prévention obsolète - Mise en place difficile voire impossible dans le tokamak


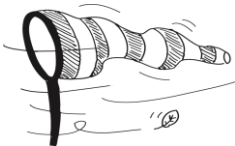

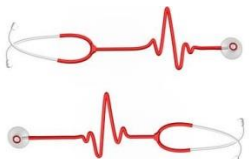
b) Mesures humaines

Mesures proposées	Illustrations	Avantages	Inconvénients
Sensibilisation		<ul style="list-style-type: none"> - Faire passer des messages forts facilement - Intéressement du salarié lorsqu'il se reconnaît dans diverses situations de travail - Prise de conscience des risques professionnels 	<ul style="list-style-type: none"> - La prise de conscience peut être temporaire - Difficulté de parler avec des salariés en fin de carrière
Masque FFP3 jetable		<ul style="list-style-type: none"> - Liberté des mouvements du soudeur - Masque jetable et facilement remplaçable - Compatible avec le masque de soudure - Peu coûteux - Adéquat pour les salariés dans l'environnement proche 	<ul style="list-style-type: none"> - Changement régulier donc consommation accrue - Incompatible avec les barbes - Ne protège pas contre les gaz - Mauvais placement du masque, utilisation incorrecte → protection altérée - Inconfortable - Provoque de la buée sur les lunettes
Masque à cartouches (filtre à particule P3 ou filtre combiné A2B2 - P3)		<ul style="list-style-type: none"> - Liberté des mouvements des soudeurs - Compatible avec une barbe légère - Combine la retenue des gaz et des particules - Combine la protection respiratoire et oculaire 	<ul style="list-style-type: none"> - Inconfortable - Changement régulier des filtres - Champ de vision restreint

MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES

Mesures proposées	Illustrations	Avantages	Inconvénients
Appareil de protection respiratoire à épuration d'air motorisé		<ul style="list-style-type: none"> - Protection des voies respiratoire optimale - Compatible avec une visière de soudage - Masque panoramique qui permet une bonne visibilité au soudeur - Nombre de recharges des batteries restreint mais conséquent (jusqu'à 1000) 	<ul style="list-style-type: none"> - Recharge des batteries (autonomie de 8h environ) - Changement régulier des filtres - Inconfortable - Encombrant vis-à-vis du salarié - Liberté des mouvements du soudeur modérée - Formation adéquate demandée
Appareil de protection respiratoire à adduction d'air		<ul style="list-style-type: none"> - Protection des voies respiratoires optimale - Compatible avec une barbe légère - Compatible avec une visière de soudeur 	<ul style="list-style-type: none"> - Inconfortable - Encombrant vis-à-vis du salarié - Liberté des mouvements du soudeur modérée - Formation adéquate demandée - Entretien difficile
Consignes de sécurité au poste		<ul style="list-style-type: none"> - Rappel des risques encourus au poste de travail - Mise en place facile - Adaptable à tout poste de travail - Peu couteux - Mise à jour facile 	<ul style="list-style-type: none"> - Ne protège pas les voies respiratoires - Peu visible → inefficace

c) Mesures organisationnelles

Mesures proposées	Illustrations	Avantages	Inconvénients
Nettoyer les pièces avant les soudures : enlèvement des revêtements		<ul style="list-style-type: none"> - Diminue la quantité de polluants émis lors du soudage 	<ul style="list-style-type: none"> - Nettoyage parfait non garanti - Ajoute une source de produit inflammable au poste car le nettoyage se fait avec un alcool
Assurer un temps de séchage des solvants utilisés pour le nettoyage		<ul style="list-style-type: none"> - Empêche la combustion du solvant lors de la soudure 	
Turn-over des salariés intervenants sur les activités de soudure		<ul style="list-style-type: none"> - La diminution du temps de travail qui engendre la diminution de l'exposition aux fumées de soudage 	<ul style="list-style-type: none"> - Garantir un nombre de soudeurs disponibles - Les longues tâches se font en deux phases → déconcentration possible
Suivi individuel renforcé		<ul style="list-style-type: none"> - Détection précoce d'une maladie professionnelle - Réponse réglementaire 	

4. Prévention liée aux postures de travail contraignantes

Le tokamak représente un environnement de travail particulier de par sa forme toroïdale et son volume restreint. En raison de ces particularités, les salariés intervenant dans cet espace rencontrent des contraintes liées aux postures de travail, comme l'illustrent les images ci-dessous :

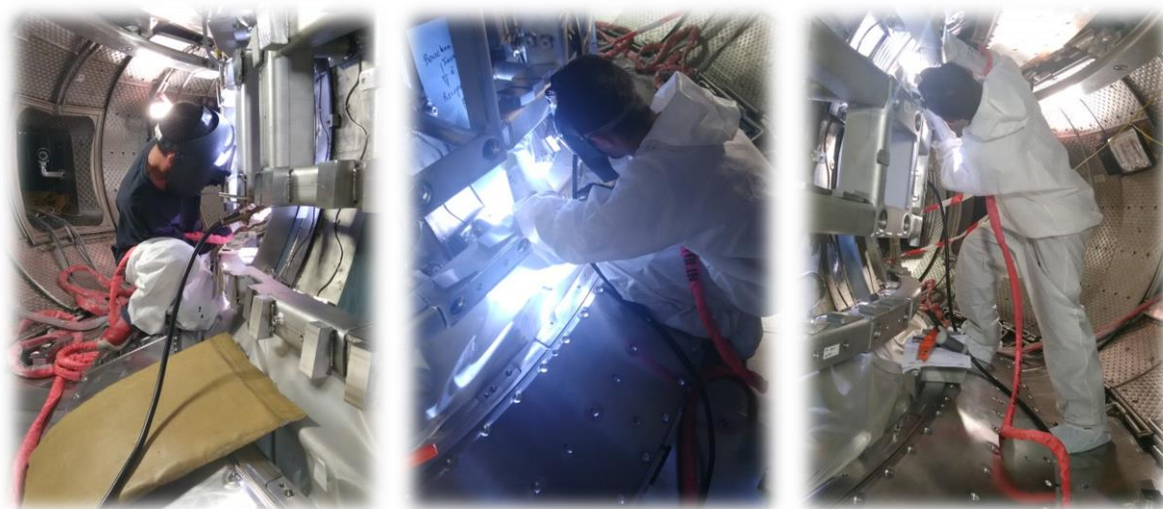


Figure 13 - illustrations des positions de travail utilisées dans le tokamak

Les photographies ci-dessus montrent les positions utilisées par les soudeurs, lors de leurs interventions dans le tokamak.

La première image montre le salarié accroupi avec un genou au sol. Afin d'être à la hauteur de la soudure, il bombe complètement le haut de son dos.

Sur la deuxième photographie, le salarié est à genoux au sol, le corps complètement avachi afin d'être le plus bas possible et à hauteur de la soudure.

Enfin sur la dernière photographie, le salarié est debout, les deux bras en l'air et le dos vrillé afin d'avoir une bonne vision sur sa soudure.

Lors d'une étude de poste, une situation de travail néfaste peut être révélée par indicateurs tels que :

- | | | |
|---------------------------|----------------------------------|------------------------|
| - Fatigue du travailleur | - Absentéisme important | - Incident ou accident |
| - Douleurs lombalgiques | - Qualité défectueuse du produit | - Arrêt maladie |
| - Maladie professionnelle | | |

Lors de la phase d'observation et d'interview des salariés, quelques-uns de ces facteurs sont cités par les salariés. Ils expriment notamment une fatigue intense en fin de journée ainsi que des douleurs lombalgiques mais également des maux aux membres supérieurs.


De mauvaises conditions de travail peuvent provoquer des maladies liées à des troubles musculo squelettiques, autrement appelés TMS. Sont classés comme tels, les maladies suivantes : arthrose, tendinite, lombalgie, hernie discale, sciatique... Ces altérations font l'objet du tableau 57 des

MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES


maladies professionnelles intitulé : affections périarticulaires provoquées par certains gestes et postures de travail.

Afin d'éviter la survenue de ce genre d'affection, il est important de maintenir des positions de travail ergonomiques. Celles qui ne sont pas souhaitables et qui représentent d'importantes contraintes physiques sont :


Position Assise Très Incommode (TI)




Tronc penché à plus de 45°



Mains au dessus de la tête




Torsion du tronc à plus de 45°




Tronc penché à plus de 45°, bras tendus

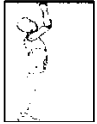
Position Debout Très Incommode (TI)




Torsion du tronc à plus de 45°



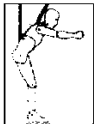
Bras tendus, mains à hauteur du coeur




Hyper-extension, mains au dessus de la tête



Tronc penché, mains au dessus de la tête




Bras tendus, tronc penché à plus de 30°




Tronc penché à plus de 45°


Autre position Très Incommode (TI)




A genoux



A genoux, tronc incliné



Flexion des 2 jambes



Accroupi

La prévention consiste à mettre en place des moyens permettant de supprimer ou diminuer les situations de travail n'étant pas ergonomiques. Dans ce sens, il est possible d'agir sur :

- La conception des outils.
- La conception des postes de travail.
- L'organisation du travail.
- L'environnement de travail.
- La formation et l'information des salariés.

5. Choix de la prévention envisagée

Lors des activités de soudure, le risque principal rencontré dans un environnement de travail classique est la source de toxicité CMR liée à l'inhalation des fumées de soudage. La campagne de mesures au poste de travail a révélé que les situations de travail sont correctes, puisque les VLEP du chrome VI et du nickel sont loin d'être atteintes.

a) En milieu extérieur

Les soudeurs sont appelés à intervenir dans divers milieux. Ceci implique que leur poste de travail, bien qu'il soit dans des courants d'air naturels, ne soit pas forcément un local spécifique de soudure. La prévention doit être pensée et mise en place en tenant compte de l'Homme, de l'environnement de travail et des techniques utilisées par celui-ci.

En allant dans ce sens, la prévention envisagée lorsque les soudures sont effectuées à l'extérieur du tokamak va se concentrer sur la mise en place d'une ventilation locale qui peut être :

- Utilisation d'une table ou d'un dossier aspirant. Ceci requiert cependant quelques conditions : la pièce à souder peut être transportée, facilement manipulable et ses dimensions sont admissibles sur la table. Cette solution est convenable pour plusieurs raisons :
 - Utilisable pour tout type de soudure.
 - Peu encombrant dans un atelier.
 - Absence de gêne visuelle entre le soudeur et la pièce (argument régulièrement mis en avant pour les bras d'aspiration).
 - Aspiration efficace des fumées de soudage.
- Lorsque la pièce n'est pas transportable facilement ou que ses dimensions dépassent celles admises par la table d'aspiration, une torche aspirante peut être utilisée. Cet outil serait efficace en termes de prévention pour les raisons suivantes :
 - Facile d'utilisation.
 - Transport facile de l'outil.
 - Non encombrant lors de la soudure.

Pour que la prévention soit optimale, il est important d'ajouter à ces mesures de prévention techniques, des moyens humains et organisationnels. Pour cela, les solutions humaines envisageables sont :

- Sensibilisation des soudeurs aux risques professionnels engendrés par leur métier. Cette action permet de faire passer des messages forts au cours des échanges. Les exemples utilisés lors de la sensibilisation permettent aux travailleurs de se reconnaître dans certaines situations ce qui peut les aider à prendre conscience des risques encourus dans leur activité professionnelle.
- Consignes de sécurité au poste de travail : ceci permet de rappeler sur les postes fixes, quels sont les risques professionnels présents. Ce document est facile à réaliser, à mettre à jour et est adaptable à tous les postes de travail. Il est envisageable de réaliser ces consignes de travail en collaboration avec les salariés amenés à intervenir sur le poste en question. Ceci permet de les impliquer directement dans la démarche de prévention et ainsi d'établir une prévention participative.

MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES

- Utilisation d'équipement de protection individuels (EPI) performants tel qu'un masque de soudure combiné à un filtre A2B2 – P3. Comme tout EPI, il doit être utilisé seulement si la protection collective n'est pas envisageable, c'est-à-dire lorsque l'aspiration locale n'est pas possible. Ce type de filtre à cartouches permet de retenir à la fois les gaz et les particules émis lors de l'activité de soudage. L'avantage de cet EPI est qu'il associe une protection oculaire mais également respiratoire.



Explication de la nomenclature du masque :

Filtre à gaz	A	Protection contre les vapeurs organiques
	B	Protection contre les gaz et vapeurs inorganiques
	E	Protection spécifique contre les acides (bromhydrique, chlorhydrique, fluorhydrique, formique), anhydre sulfureux, dioxyde de soufre, gaz hydrochlorique
	K	Protection contre l'ammoniac et certains dérivés aminés
Classe d'efficacité du filtre à gaz en fonction de leur capacité de retenue	1	Faible capacité de retenue
	2	Moyenne capacité de retenue
	3	Haute capacité de retenue
Classe d'efficacité du filtre à particules – aérosol	P1	Faible efficacité
	P2	Moyenne efficacité
	P3	Haute efficacité

Le masque de soudure à cartouches A2B2 – P3 permet donc une protection contre les vapeurs organiques et une protection contre les gaz et vapeurs inorganiques avec une capacité de retenue moyenne. Il permet également une filtration des particules avec une haute efficacité.

Concernant les moyens de prévention organisationnels, voici ceux qui peuvent être retenus :

- Nettoyage systématique des pièces à souder. Cette action a pour but d'enlever un maximum d'impuretés présentes à la surface des matériaux susceptibles de brûler lors du soudage.
- Assurer un temps de séchage des solvants. Ceci empêche la combustion du solvant lors du soudage et réduit donc la quantité de gaz de combustion inhalables.
- Mise en place d'un suivi individuel renforcé. En premier lieu, ce suivi répond à une obligation réglementaire issue de l'article R4624-22 du Code du Travail :

Tout travailleur affecté à un poste présentant des risques particuliers pour sa santé ou sa sécurité ou pour celles de ses collègues ou des tiers évoluant dans l'environnement immédiat de travail défini à l'article R. 4624-23 bénéficie d'un suivi individuel renforcé de son état de santé selon des modalités définies par la présente sous-section.

L'article R 4624-23 précise les expositions sujettes au suivi individuel renforcé. L'exposition aux agents cancérigènes fait l'objet d'un poste à risques et oblige donc la mise en place du suivi. Au-delà de l'obligation réglementaire, cette surveillance permet de détecter prématurément une maladie professionnelle et renforce alors la prévention des risques.

b) Dans le tokamak

La mise en place d'une prévention au sein du tokamak est délicate. La forme toroïdale ainsi que le petit volume de l'enceinte n'offrent pas la possibilité de mettre en place tout type de moyens de prévention. De plus, la prévention établie ne doit pas altérer la réalisation et la qualité des soudures. En effet, il est très important que les soudures soient résistantes afin de garantir l'étanchéité et le maintien du vide.

En respectant ces exigences techniques, humaines et organisationnelles, les moyens de prévention envisageables sont :

- La mise en place d'une ventilation générale permettant de disperser les polluants, tout en apportant un air neuf. Pour rappel, ce type de ventilation est à mettre en place seulement lorsque la ventilation locale n'est pas permise, ce qui est le cas ici. Actuellement, le tokamak est déjà équipé de ce type de moyen technique. Contrôlé depuis l'extérieur de l'enceinte, cette ventilation est complétée par un extracteur d'air.



Figure 14 - Boîtier de contrôle de la ventilation générale du tokamak

- L'utilisation de masque à cartouches à filtres combiné A2B2 – P3 est envisagée. Ce masque de taille tout à fait acceptable dispense une protection à la fois visuelle et respiratoire. L'inconvénient est le rétrécissement du champ de vision de l'opérateur.
- L'appareil de protection respiratoire à épuration d'air motorisé est une solution intéressante pour les raisons suivantes :
 - Champ de vision intégralement conservé grâce à un masque panoramique.
 - Protection des voies respiratoires.
 - Compatibilité avec une visière de soudage.
 - L'opérateur conserve une liberté de mouvement acceptable tout en garantissant la sécurité de ses voies respiratoires.
- Sensibilisation des soudeurs aux risques professionnels liés à leur activité. Ils sont concernés par le risque de TMS ainsi que ceux liés aux fumées de soudage. Cette action de prévention permet de déclencher une prise de conscience chez le travailleur. Sensibilisé, il accepte plus

MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES

facilement les moyens de prévention mis à sa disposition et comprend les raisons pour lesquelles il doit se protéger.

- Consignes de sécurité au poste de travail : ce document rappelle les risques présents sur le poste de travail ainsi que les moyens de prévention existants. Ce document peut être judicieusement placé dans le sas d'entrée du tokamak. De cette manière, le travailleur est incité à lire la fiche.
- Les travailleurs présent dans le tokamak, n'exerçant pas l'activité de soudure sont également exposés aux fumées de soudage. Même si la quantité de fumées est moindre, un masque FFP3 jetable peut être porté afin de retenir les particules présentes dans l'environnement de travail.

Afin de pallier aux risques de TMS, les moyens de prévention qui peuvent être mis en place sont :

- Mettre en place une organisation de travail différente. L'activité dans le tokamak est très intense lors des phases de maintenance. Les soudeurs intervenant dans ce milieu sont au nombre de 2 et peuvent parfois passer leur journée de travail à ce poste. Affecter deux autres soudeurs à ce poste permettrait de mettre en place un turn over et de diminuer le temps de travail passé dans cet environnement.
- Former les salariés pour leur transmettre les bons gestes et les bonnes postures de travail. Pour cela, la « formation prévention des risques liés à l'activité physique » peut être dispensée.
- Mettre en place un suivi individuel renforcé. Cette action devient obligatoire lorsque les heures de travail soumettant le salarié à des postures pénibles atteint 900 heures. Dans le cas présent, ce seuil n'est pas atteint mais ce suivi peut tout de même être mis en place. Cette surveillance permettrait de détecter rapidement une maladie professionnelle liée aux TMS.

Conclusion

Les fumées de soudage représentent un risque professionnel important. Selon la matière soudée ainsi que la technique utilisée, la composition des fumées diffère, devenant plus ou moins néfaste pour l'organisme humain.

Lorsque le salarié utilise la technique du TIG pour souder des pièces en INOX 316L, les fumées comportent des agents cancérigènes tel que le chrome VI et le nickel. Face à cette dangerosité, il est primordial de protéger les travailleurs concernés.

Mais dans certains environnements de travail, la mise en place d'une prévention efficace est délicate notamment au sein d'un réacteur expérimental de fusion nucléaire. En effet, les actions de prévention établies doivent à la fois protéger le salarié de l'aspect toxique des fumées tout en lui permettant d'effectuer des soudures de qualité.

En plus des fumées de soudage, le risque de TMS est présent et accentué lorsque les salariés interviennent dans le tokamak. Cet aspect complique la mise en place d'une prévention efficace puisqu'en fonction de l'action mise en place, le risque de TMS peut être accentué.

Afin que la prévention établie soit performante, plusieurs facteurs doivent être pris en compte, à savoir :

- Analyser précisément les postes de travail afin de comprendre leur complexité et particularité.
- Réfléchir aux actions envisageables avec les salariés concernés. Ceci permet de les impliquer directement dans la prévention et de leur faire accepter plus facilement les actions établies. Leur vision professionnelle aide à statuer sur la possibilité de mise en place des actions pensées.
- Etablir des actions de trois genres : techniques, humaines et organisationnelles.

Suivre les 9 principes généraux de prévention. La mise en place d'une prévention dans un environnement de travail aussi particulier qu'un tokamak est complexe. Cependant, une réflexion collective permet d'identifier les mesures rendant la prévention efficace.

Bibliographie

Référence réglementaire :

- Code du travail – Livre IV
 - o Discipline couverte : réglementation santé et sécurité au travail

Supports de cours de formation :

- Cours génotoxicité dispensé en master II
 - o Discipline couverte : impacts génétiques des fumées de soudage
- Cours de thermodynamique dispensé en master I
 - o Discipline couverte : thermodynamique lors des soudures
- Cours d'Hygiène et Sécurité au travail dispensé en master I
 - o Discipline couverte : analyse en termes de sécurité des situations de travail

Internet et intranet :

- <http://www.legifrance.gouv.fr>
 - o Discipline couverte : réglementation
- <http://www.inrs.fr>
 - o Discipline couverte : recherche documentaire sur la prévention des risques liés aux fumées de soudage
- <http://www.sante-securite-paca.org>
 - o Discipline couverte : recherche documentaire sur les fumées de soudage
- <http://www.travail-emploi.gouv.fr>
 - o Discipline couverte : recherche documentaire sur les fumées de soudage
- <http://www.carsat-ra.fr>
 - o Discipline couverte : recherche documentaire sur les fumées de soudage
- <http://www.cea.fr/>
 - o Discipline couverte : informations administratives du CEA
- <http://www-irfm.intra.cea.fr/>
 - o Discipline couverte : informations administratives du CEA

Table des matières

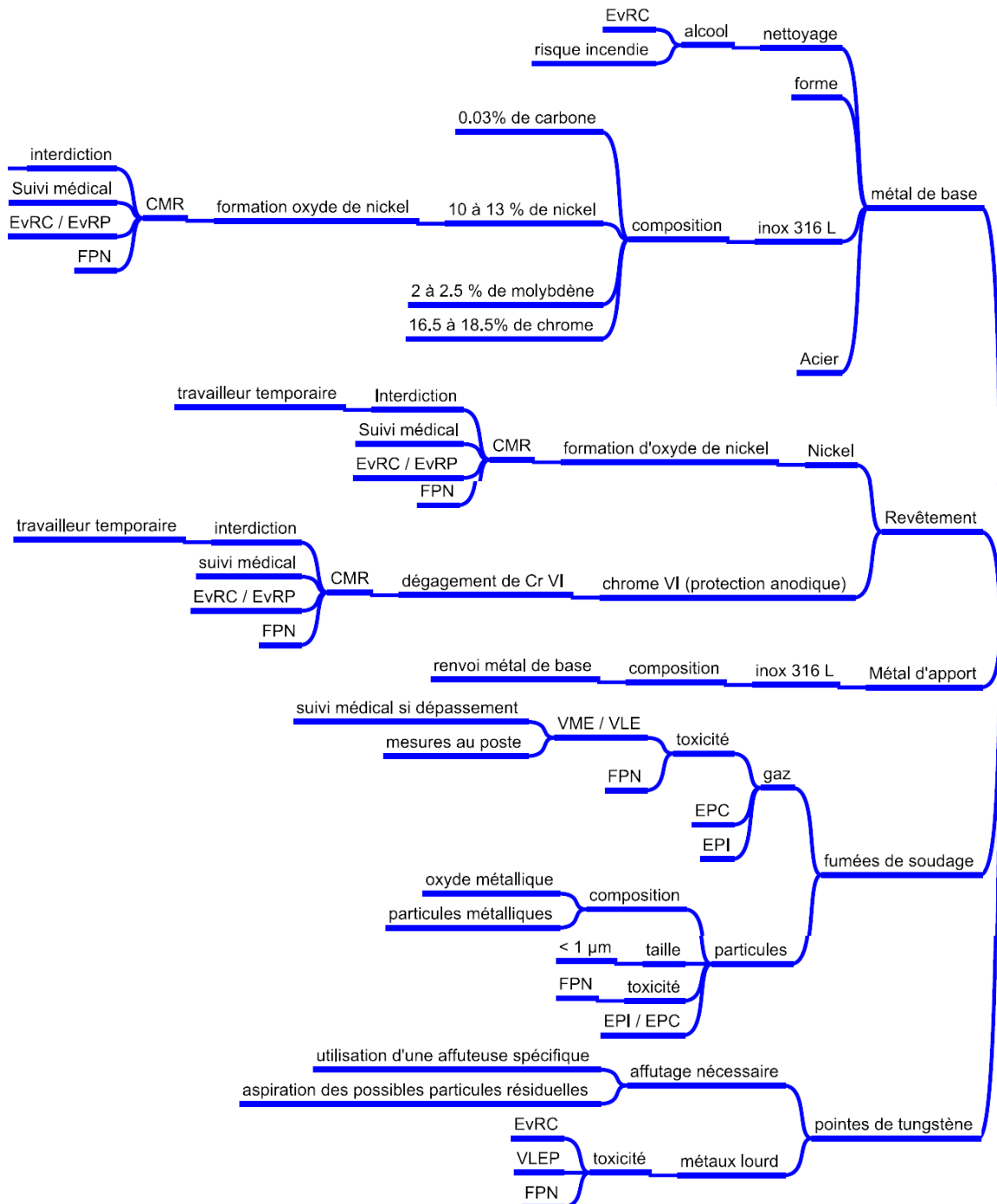
Remerciements	1
Sommaire	2
Table des illustrations.....	3
Index.....	4
Introduction.....	5
I. Présentation de l'entreprise.....	6
A. Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Energies Alternatives	6
B. Centre de Cadarache	7
C. Institut de Recherche sur la Fusion par confinement Magnétique.....	7
1. Généralités	7
2. Activités de l'IRFM.....	8
3. Organisation de l'IRFM.....	9
II. Fumées de soudage.....	10
A. Origine des fumées de soudage	10
B. Composition des fumées de soudage	11
1. Thermodynamique et réaction de fusion.....	12
a) Changement d'état physique	12
b) Thermodynamique	12
2. Réaction de combustion.....	13
a) A l'échelle macroscopique.....	13
b) A l'échelle moléculaire	13
3. Deux composés ciblés	13
a) Chrome VI ou chrome hexavalent.....	14
b) Nickel	14
C. Système respiratoire	15
1. Structure.....	15
2. Impacts des fumées l'appareil respiratoire.....	15
III. Traitement de la thématique	17
A. Contexte du projet	18

MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES

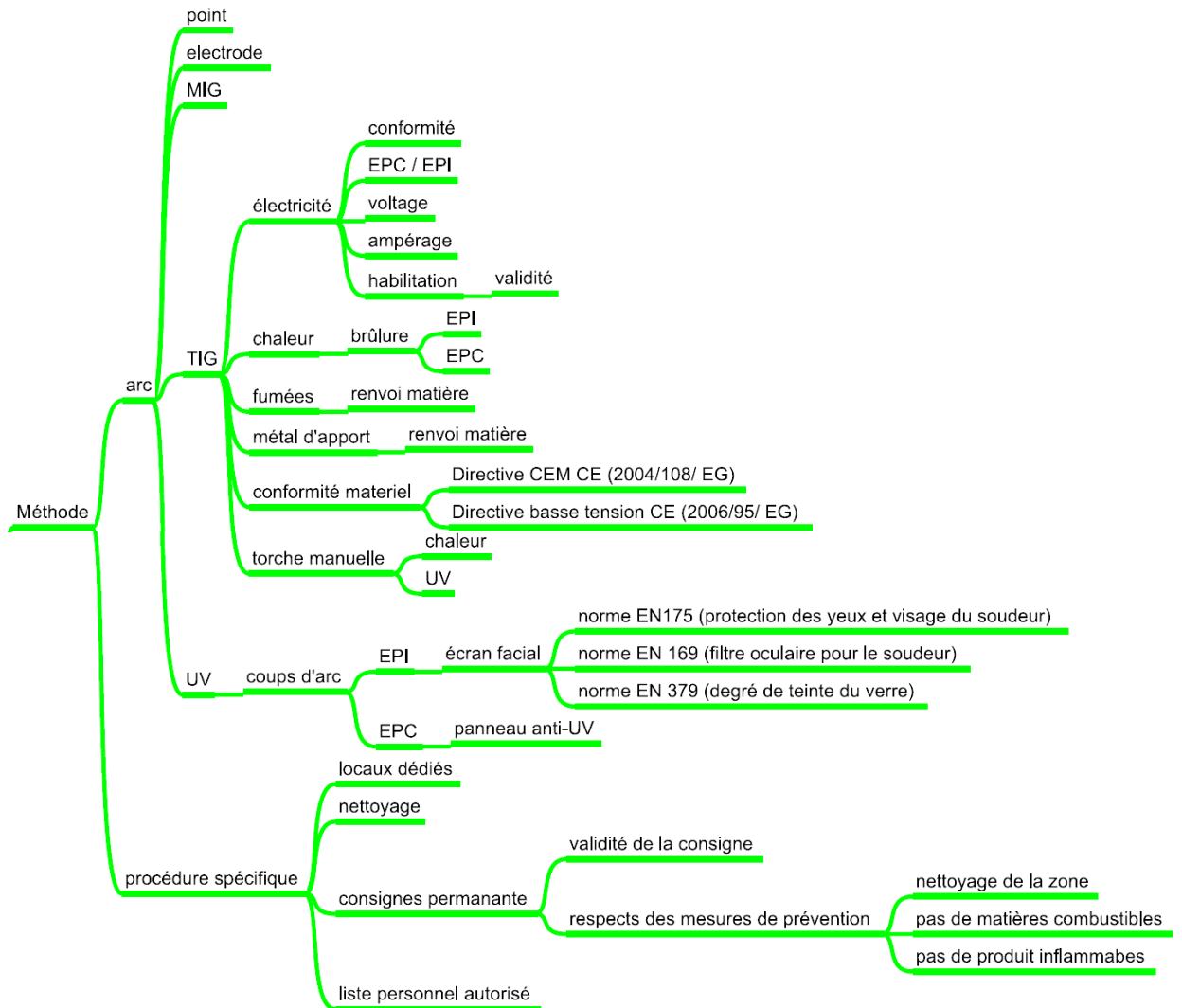
B.	Données d'entrée et de sortie du processus	19
1.	Données d'entrée	19
2.	Données de sorties	20
C.	Processus de management	21
D.	Processus support au projet.....	21
E.	Processus de réalisation	22
1.	Planification.....	22
2.	Etude de poste de travail	22
a)	Présentation de la méthode MOSAR.....	22
a)	Evaluation du risque chimique des postes de travail.....	23
•	Etape 1 : évaluation semi-quantitative	24
•	Etape 2 : évaluation quantitative	25
F.	Prévention des risques professionnels.....	27
1.	Généralités	27
2.	Particularité de l'environnement de travail	28
3.	Prévention de la toxicité CMR des fumées de soudage	29
a)	Mesures techniques	29
b)	Mesures humaines	32
c)	Mesures organisationnelles	34
4.	Prévention liée aux postures de travail contraignantes.....	35
5.	Choix de la prévention envisagée.....	37
a)	En milieu extérieur	37
b)	Dans le tokamak	39
	Conclusion	41
	Bibliographie.....	42
	Table des matières	43
	Annexe 1 : Carte heuristique	45
	Annexe 2 : Questionnaire à destination des soudeurs	50
	Annexe 3 : Planning de l'étude.....	53
	Annexe 4 : Résultats des EvRP	56
	Annexe 5 : Méthodologie EvRC utilisée par le CEA	60
	Résumé.....	63

ANNEXE 1 : CARTE HEURISTIQUE

Branche Matériel :

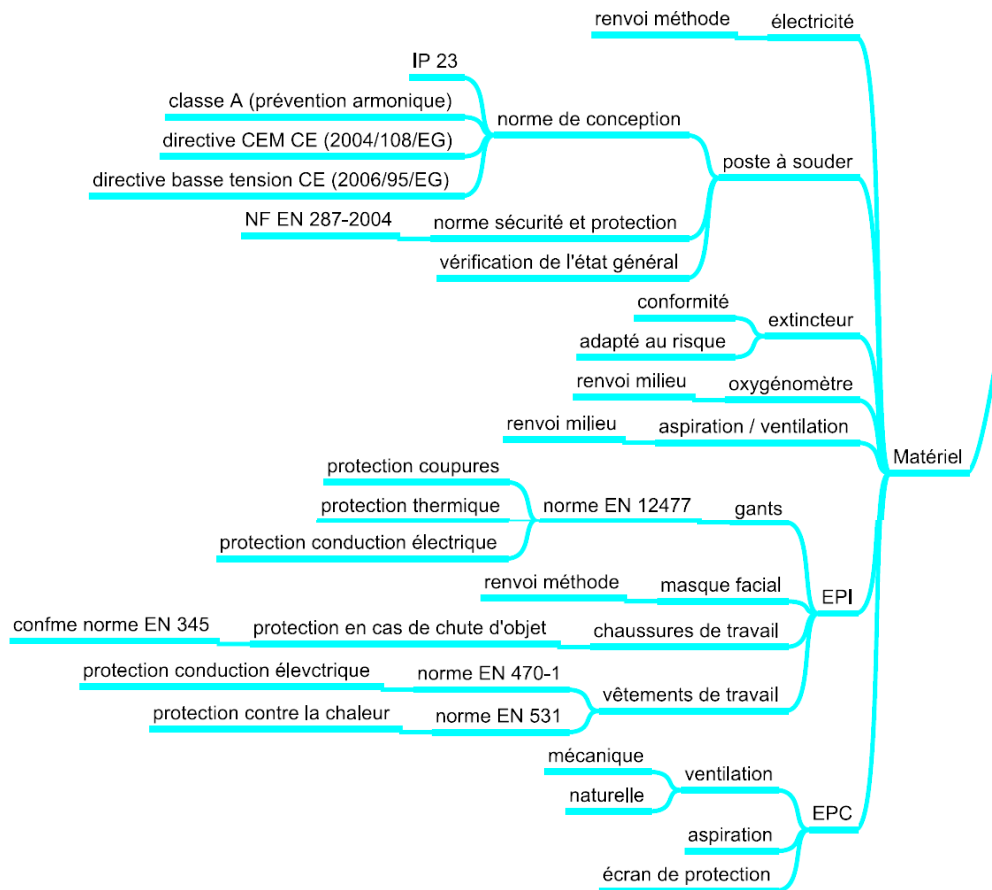


Branche méthode

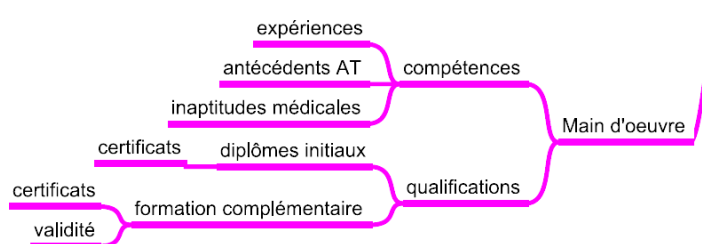


MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES

Branche matériel

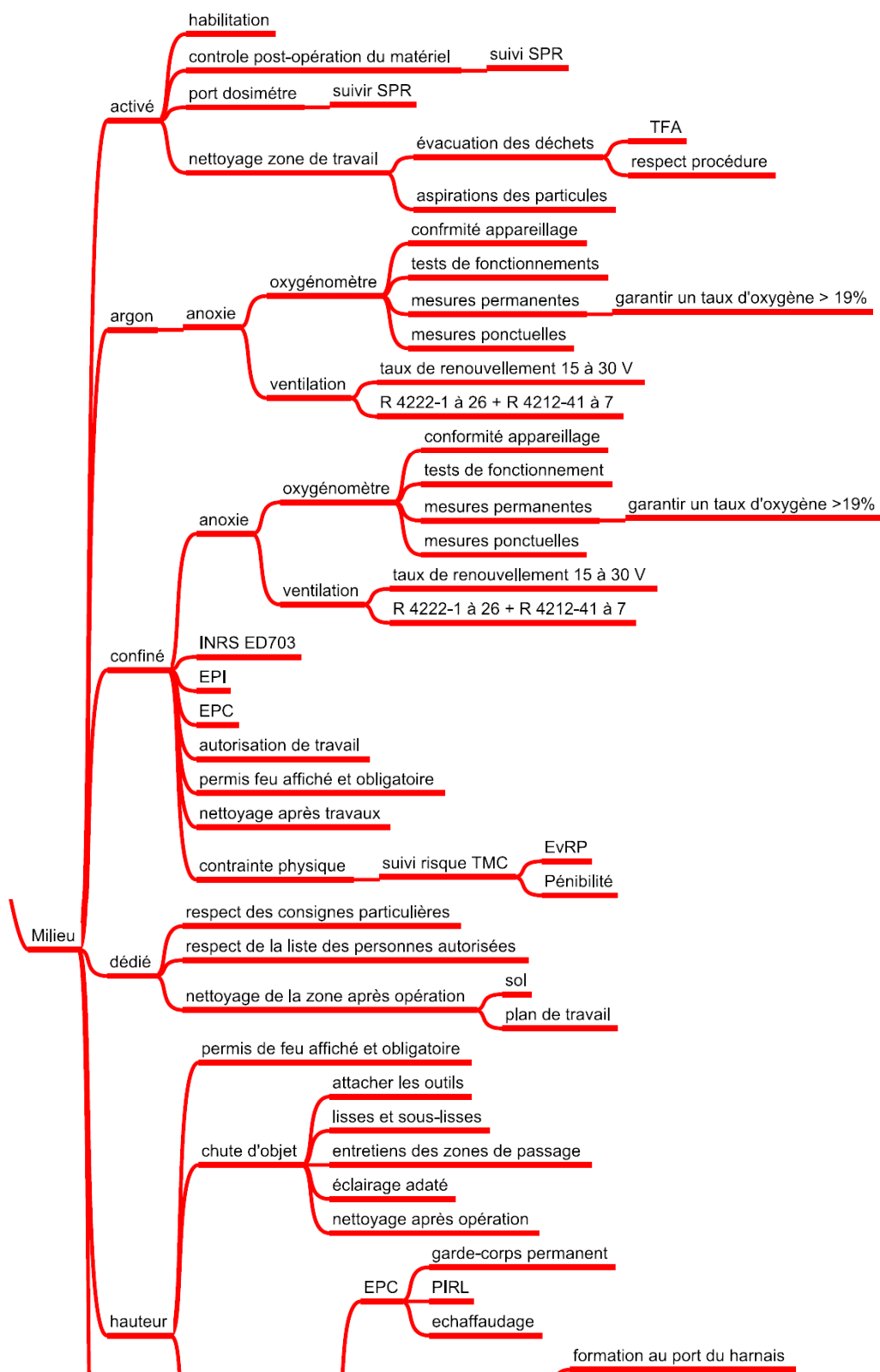


Branche main d'œuvre

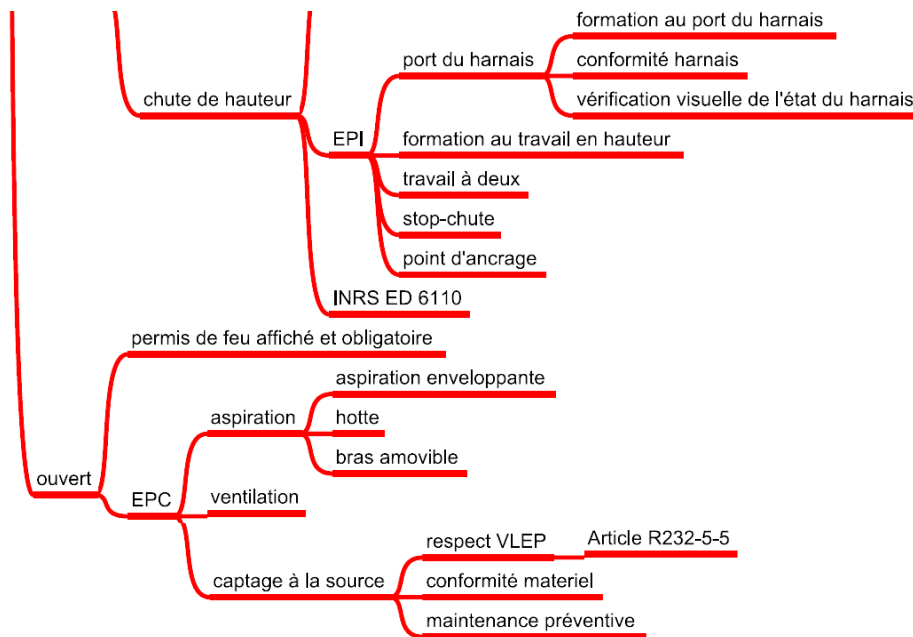


MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES

Branche milieu :



MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES



ANNEXE 2 : QUESTIONNAIRE A DESTINATION DES SOUDEURS

Thématiques abordées

- La méthode employée.
- Le milieu de travail.
- Les matériels utilisés.
- La matière manipulée.

Légende :

Texte gras : questions posées

Texte normal : réponses éventuelles

Qu'est-ce qu'un risque ? C'est ce qui fait mal

Qu'est-ce qu'un danger ? C'est l'exposition à ce qui fait mal

La méthode employée

Quels sont les dangers rencontrés lors de l'utilisation d'un poste TIG ?

- Conductivité électrique
- Brûlure
- Gênes respiratoires
- Coups d'arc
- Anoxie (chambrage)

Sur une semaine de travail, combien de temps réel passez-vous à souder ?

Avez-vous des gênes respiratoires après une opération de soudure ?

Ressentez-vous des douleurs après avoir fini l'opération de soudure ?

- Respiratoire (irritation, toux, oppression thoracique)
- TMS (dos, épaule, nuque, coude, poignet)
- Nausées, céphalées

Quelle protection utilisez-vous pour vous protéger des brûlures ?

- Ensemble veste – pantalon – en coton ajustable au niveau du cou et sans revers, plis ou poche
- Gants isolants, traité anti-chaleur
- Chaussures de sécurité montantes, fermées et isolantes

Quelle protection utilisez-vous pour vous protéger des rayonnements optiques ?

- Masque avec filtre oculaire adapté
- Ecran pour protéger les autres

Quelle protection utilisez-vous pour vous protéger des fumées de soudage ?

- Ventilation générale
- Ventilation mécanique forcée
- Ventilation naturelle
- Aspiration
- Masque de protection

Quelle protection utilisez-vous pour vous protéger des risques électriques ?

- Gants protégeant de la conduction électrique
- Vérifier le bon état général de l'appareil
- Mise à la terre
- Porte électrode IP 2X

Contre le risque d'anoxie, que mettez-vous en œuvre pour vous protéger ?

- Oxygénomètre
- Tests de fonctionnement de l'oxygénomètre
- Travail en binôme

Le milieu de travail

Espace confiné

Pour quelles raisons les soudures dans un espace confiné sont plus contraignantes ?

- Autorisation de travail
- Contraintes physiques
- Anoxie
- Co activité difficile

Vous sentez-vous plus fatigué à la fin de la journée par rapport à une journée de travail classique ?

Travail en hauteur

Pour quelles raisons les soudures effectuées dans un milieu de travail en hauteur sont plus contraignantes ?

- Risque de chute d'objet
- Risque de chute de hauteur
- (Formation au travail en hauteur)
- (Formation au port du harnais)
- S'adapter à l'espace de travail (PIRL, échafaudage...)
- Co activité difficile

Vous sentez-vous plus fatigué à la fin de la journée ?

MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES

Travail dans les locaux dédiés (zone de meulage 501 – local PFU – SAS 500)

Quelles sont les contraintes supplémentaires rencontrées dans ce type de local ?

- Liste personnel autorisé
- Respect des règles de sécurité indiquées dans la consigne permanente

Que pourrait-on ajouter dans ces locaux pour optimiser le travail de soudure ?

Travail en zone réglementée radioprotection

Pour quelles raisons les soudures dans un espace activé sont plus contraignantes ?

- Autorisation de travail
- Formation spécifique
- Suivi SPR
- Port du dosimètre
- Nettoyage post-opération spécifique (déchets TFA)

Travail avec chambrage à l'argon

En quoi la méthode de soudage change lorsque vous utilisez la technique du chambrage à l'argon ?

Quels sont les risques supplémentaires avec cette méthode ?

- Anoxie

Les matières utilisées

Quel est le métal de base qui est le plus utilisé ?

Quel est le métal d'apport qui est le plus souvent utilisé ?

Certaines pièces métalliques ont un revêtement à leur surface, les enlevez-vous avant de souder ? (si oui, comment ?)

Constatez-vous l'apparition de fumées lorsque vous soudez au TIG ?

Comment nettoyez-vous les pièces avant de les souder ? (avec quel produit chimique ?)

De quelle manière sont affutées les pointes de tungstène ?

Les matériels utilisés

Quel extincteur utilisez-vous lors d'une soudure, quel que soit l'environnement de travail ?

Contrôlez-vous la validité de vos EPI ?

Contrôlez-vous l'état de du poste à souder avant l'opération ?

ANNEXE 3 : PLANNING DE L'ETUDE

Actions à réaliser	Semaine 39	semaine 40	Semaine 43	Semaine 44	Semaine 47	Semaine 48	Semaine 51	Semaine 52	Semaine 3	Semaine 4	Semaine 7	Semaine 8	Semaine 11	Semaine 12	Semaine 15	Semaine 16	Semaine 19	Semaine 20	Semaine 23	Semaine 24	semaine 27	semaine 28	Semaine 29	Semaine 30	Semaine 31	Semaine 32	Semaine 33	Semaine 34	Semaine 35	Semaine 36	Semaine 37	Semaine 38	Semaine 39	Semaine 40	05-sept							
Thème 1							Congés de Noël			Congés prévus																																
1																																										
2																																										
3																																										
Thème 2																																										
4																																										
5																																										
6																																										
7																																										
8																																										
Thème 3																																										
8																																										
9																																										
10																																										
Thème 4																																										
11																																										
12																																										
13																																										
Thème 5																																										

Légende des actions planifiées :

Thème 1	Etude documentaire sur les fumées de soudage	Action 17	Tirer les informations transmises lors de l'interview
Action 1	Créer un répertoire personnel comportant des différents documents lus et/ou étudiés	Action 18	Classer les informations en risque : TMS – chimique – mécanique
Action 2	Recherche de documents / informations sur les fumées de soudage	Action 19	Evaluation des risques identifiés
Action 3	Réaliser une synthèse des informations (base pour le rapport)	Action 20	Hiérarchisation des risques
Thème 2	Etude de poste de travail	Thème 7	Réflexion et proposition d'un programme de prévention
Action 4	Faire l'EvRP es soudeurs en milieu classique	Action 21	Proposer des mesures techniques, humaines et organisationnelles sur les risques les plus impactant
Action 5	Faire l'EvRP des soudeurs dans l'enceinte à vide	Action 22	Identifier le coût, le pilote et le délai des mesures proposées
Action 6	Faire l'EvRC des soudeurs en milieu classique	Action 23	Validation (ou non) des mesures
Action 7	Faire l'EvRC des soudeurs dans l'enceinte à vide	Thème 8	Lancement des actions de prévention validée
Thème 3	Campagne de mesures au poste de travail	Action 24	Création planning de la mise en place de l'action avec identification des jalons clé
Action 8	Organiser et suivre la campagne de mesures au poste de Travail effectué en milieu de travail classique	Action 25	Mise en place avec le pilote de la mission
Action 9	Organiser et suivre la campagne de mesures au poste de Travail effectué dans l'enceinte à vide	Thème 9	Contrôle de l'efficacité des actions
Action 10	Interprétation des résultats	Action 26	Questionnaire et interview faisant suite aux mesures
Thème 4	Création d'un formulaire / questionnaire d'étude de poste	Action 27	Interprétation des réponses obtenues
Action 11	Réalisation du questionnaire	Action 28	Comparaison avec les résultats initiaux
Action 12	Diffusion à Ivan, Yvan et Carole	Action 29	Validation ou non de l'efficacité des actions
Action 13	Correction ou validation	Thème 10	Missions master PRNT
Thème 5	Interview des salariés à l'aide du questionnaire	Action 30	Rédaction mémoire M2
Action 14	Prise de rendez-vous des salariés concernés	Action 31	Correction
Action 15	Validation du rendez-vous	Action 32	Validation
Action 16	Interview du salarié	Action 33	Envoi mémoire
Thème 6	Interprétation du formulaire	Action 34	Soutenance de mémoire

ANNEXE 4 : RESULTATS DES EVRP

Evaluation des risques professionnels dans un environnement naturellement aéré

<u>Code Grille</u>	Famille de danger et description de l'évènement redouté	F	G	Risque Absolu	Eléments de maîtrise en place	F	G	Risque Résiduel
MOSAR	Absolu				Résiduel			
<u>A6</u>	Possibilité de chute de matériel ou de matériaux	3	2	R2	- Rangement - Port de chaussures de sécurité	2	2	R1
<u>A6</u>	Travaux en hauteur (+4 / +5m)	2	16	R3	- Protection des postes de travail par des lisses, sous-classes et garde-corps - Sensibilisation des opérateurs aux gestes les plus sûrs - Escabeau antidérapant - Conformité réglementaire des équipements	1	4	R1
<u>A7</u>	Chutes de plain-pied liées aux dénivellations	1	4	R1	- Tenir la rambarde - Chaussures antidérapantes - Rangement - Zones de passage éclairées	1	4	R1
<u>A82</u>	Source de brûlure non chimique liée au bain de fusion de la soudure Source de brûlure non chimique liée à la chaleur dégagée par la torche de soudure	3	2	R2	- Port des EPI adaptés - Port des EPI conforme à la EN 12477 - Mise en place procédure ELPS	1	2	R0
<u>A7</u>	Chute de plain-pied liée aux caillebotis des passerelles du tore	2	2	R1	- Chaussures antidérapantes - Voies de circulation éclairées - Voies de circulation libres - Balisage et surveillance des zones occupées	1	2	R0

MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES

<u>A9</u>	Source de bruit liée à la co-activité	2	1	R0	- Port des protections auditives - Risque identifié lors des plans de prévention	1	1	R0
<u>B33</u>	Utilisation de produits agressifs (corrosifs, nocifs, irritants) lors du nettoyage des pièces soudées	2	3	R2	- Port des EPI - Utilisation en espace ventilé ou aéré - Présence de rince-œil à proximité - Détenir la FDS	2	2	R1
<u>B31</u>	Source de toxicité CMR lors de l'inhalation des fumées de soudage	4	16	R3	- Captage des fumées à la source - Travail en environnement ventilé ou aéré - Port des EPI - EvRC quantitative	2	4	R2
<u>B4</u>	Source de pollution et d'odeur liée au rejet des fumées de soudage	4	1	R1	- Captage à la source - Travail en environnement ventilé ou aéré	2	1	R0
<u>D2</u>	Source d'allumage d'un incendie liée à la création de points chauds	3	16	R3	- Procédure de permis de feu - Enlèvement des matières combustibles - Ronde après la fin des travaux - Présence d'un extincteur adapté à proximité du poste de travail - Activation et surveillance des détecteurs automatiques incendie (DAI) - Formation à la manipulation des extincteurs	1	4	R1
<u>E23</u>	Rayonnement visible lié à l'arc du poste à souder	4	16	R3	- Ecran de protection anti-UV - Balisage de la zone à risque - Formation du personnel - Port des EPI - Port des vêtements de travail couvrants	2	2	R1
<u>G12</u>	Contraintes liées aux équipements et à la conception du poste de travail : postures de travail contraignantes	2	2	R1	- Formation gestes et postures - Prise en compte avant installation de nouveaux équipements - Procédures de montage et de soudage	1	2	R0

Total R3	4
Total R2	3
Total R1	4
Total R0	1

Total R3	0
Total R2	1
Total R1	5
Total R0	5

MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES

Evaluation des risques professionnels dans l'enceinte du tokamak

<u>Code Grille</u>	<u>Famille de danger et description de l'évènement redouté</u>	<u>F</u>	<u>G</u>	<u>Risque Absolu</u>	<u>Eléments de maîtrise en place</u>	<u>F</u>	<u>G</u>	<u>Risque Résiduel</u>
MOSAR	Absolu				Résiduel			
<u>A82</u>	<ul style="list-style-type: none"> • Source de brûlure non chimique liée au bain de fusion de la soudure • Source de brûlure non chimique liée à la chaleur dégagée par la torche de soudure 	3	2	R2	<ul style="list-style-type: none"> - Port des EPI adaptés - Port des EPI conforme à la EN 12477 - Mise en place procédure ELPS 	1	2	R0
<u>A6</u>	Heurt lié aux éléments en hauteur (volume machine restreint)	4	2	R2	<ul style="list-style-type: none"> - Port du casque ou casquette anti-heurt - Affichage du risque - Protection des éléments dépassants 	3	1	R1
<u>A7</u>	Chute de plain-pied liée aux dénivelés présents en intérieur machine	4	2	R2	<ul style="list-style-type: none"> - Chaussures antidérapantes - Voies de circulation éclairées - Voies de circulation libres 	2	2	R1
<u>A9</u>	Source de bruit liée à la co-activité	2	1	R0	<ul style="list-style-type: none"> - Port des protections auditives - Risque identifié lors des plans de prévention 	1	1	R0
<u>B33</u>	Utilisation de produits agressifs (corrosifs, nocifs, irritants) lors du nettoyage des pièces soudées	2	3	R2	<ul style="list-style-type: none"> - Port des EPI - Utilisation en espace ventilé ou aéré - Présence de rince-œil à proximité - Détenir la FDS 	2	2	R1
<u>B31</u>	Source de toxicité CMR lors de l'ingestion des fumées de soudage	4	16	R3	<ul style="list-style-type: none"> - Captage des fumées à la source - Travail en environnement ventilé ou aéré - Port des EPI - EvRC quantitative 	2	4	R2
<u>B4</u>	Source de pollution et d'odeur liée au rejet des fumées de soudage	4	1	R1	<ul style="list-style-type: none"> - Captage à la source - Travail en environnement ventilé ou aéré 	2	1	R0
<u>B5</u>	Source de manque d'oxygène - Anoxie	2	16	R3	<ul style="list-style-type: none"> - Travail à deux minimum dans l'enceinte - Présence de détecteur d'O₂ - Aspiration - ventilation - Vérification des détecteur d'O₂ 	1	4	R1

MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES

<u>D2</u>	Source d'allumage d'un incendie liée à la création de points chauds	3	16	R3	- Contrôle de la ventilation forcée - Conformité de la ventilation forcée - Formation et information du personnel - Purge et consignation gaz - Procédure de permis de feu - Enlèvement des matières combustibles - Ronde après la fin des travaux - Présence d'un extincteur adapté à proximité du poste de travail - Activation et surveillance des détecteurs automatiques incendie (DAI) - Formation à la manipulation des extincteurs	1	4	R1	
<u>E23</u>	Rayonnement visible lié à l'arc du poste à souder	4	16	R3	- Ecran facial de protection anti-UV - Formation du personnel - Port des EPI - Port de vêtements de travail couvrants	2	2	R1	
<u>G12</u>	Contraintes liées aux équipements et à la conception du poste de travail : postures de travail contraignantes	4	4	R3	- Formation gestes et postures - Réduction du temps de travail en enceinte - Pauses régulières - Procédures de montage et de soudage des composants	4	2	R2	

Total R3	5
Total R2	4
Total R1	1
Total R0	1

Total R3	0
Total R2	2
Total R1	6
Total R0	3

De ces deux évaluations, il ressort deux informations importantes :

- Le risque CMR lié aux fumées de soudage est présent et nécessite obligatoirement des actions d'amélioration.
- Les postures de travail contraignantes liées à l'environnement de travail représentent un risque nécessitant obligatoirement des actions d'amélioration.

ANNEXE 5 : METHODOLOGIE EVRC UTILISEE PAR LE CEA

- Détermination de l'indice de danger

L'indice de danger se détermine en fonction de la VLEP. Les unités utilisées peuvent être le **ppm** (partie par million) ou bien le **mg/m³** (milligramme par mètre cube)

Pour les phases hétérogènes (brouillards, aérosols, poussières):		Pour les phases homogènes (vapeurs, gaz) :	
Indice de danger	VME/VLEP(8h) (mg/m ³)	Indice de danger	VME/VLEP(8h) (ppm)
1	VME/VLEP(8h) ≥ 10	1	VME/VLEP(8h) ≥ 100
2	1 ≤ VME/VLEP(8h) < 10	2	10 ≤ VME/VLEP(8h) < 100
3	0,1 ≤ VME/VLEP(8h) < 1	3	1 ≤ VME/VLEP(8h) < 10
4	0,01 ≤ VME/VLEP(8h) < 0,1	4	0,1 ≤ VME/VLEP(8h) < 1
5	0,001 ≤ VME/VLEP(8h) < 0,01	5	0,01 ≤ VME/VLEP(8h) < 0,1

Indice de danger	Phrase de risque (*)
1	Pas de phrase de risque
2	R37
3	R20, R33, R34, R40, R62, R63, R64, R67, R68/20
4	R23, R29, R31, R35, R48/20, R48/23
5	R26, R32, R39/23, R39/26, R42, R45, R46, R49, R60, R61

En l'absence de VLEP, l'indice de danger sera déterminé à l'aide des phrases de risques liées aux caractéristiques du produit chimique. Les CMR de catégorie 1 ou 2 sont systématiquement classés en indice de danger 5.

- Détermination de l'indice de confinement

Indice de confinement	Définitions
1 : absence de ventilation ou de captage	En l'absence de ventilation spécifique, l'indice de confinement prend la valeur 1. Cependant, si le poste bénéficie d'une très bonne ventilation naturelle ce qui peut être, en particulier, le cas pour certains postes de travail en plein air, l'indice de confinement prend la valeur 2.
2 : ventilation locale	Le produit est manipulé tel que sur une paillasse ou dans un atelier où les sources d'émissions d'aérosols ou de vapeurs sont équipées d'un système local de captage et d'aspiration réduisant la dispersion dans l'atmosphère. L'efficacité de ces moyens techniques de captage sera d'autant meilleure que les opérateurs seront bien formés à leur utilisation. Exemple : bras d'aspiration éloigné/distant
3 : ventilation locale efficace	L'agent chimique est manipulé tel que sur une paillasse ou dans un atelier où les sources d'émissions d'aérosols ou de vapeurs sont équipées d'un système local de captage et d'aspiration efficace qui empêche la dispersion dans l'atmosphère. L'efficacité de ces moyens techniques de captage provient généralement d'un dimensionnement correct des débits d'extraction au vu des surfaces d'aspiration à couvrir. Exemples : hotte aspirante, bras d'aspiration à proximité de la source
4 : ventilation enveloppante	L'agent chimique, maintenu dans un volume réduit, est soumis à un système d'extraction de poussières ou de vapeurs. Ce dispositif est suffisamment efficace pour que l'agent chimique ou ses émanations, bien que manipulé à l'air libre, ne soit pas, ou peu en contact avec les opérateurs. L'exposition est a priori faible, mais dépend directement : - des performances du système d'extraction, couramment de type « enveloppant », le plus souvent apprécié au moyen de la vitesse de captage, - de sa mise en œuvre. Exemple : sorbonne, enceinte pour toxique à recyclage d'air filtré, ... Les concentrations atmosphériques résiduelles peuvent atteindre quelques dizaines de µg/m ³ (aérosols) ou centaine de ppb (vapeurs)
5 : système clos ou procédé de très haute efficacité	Le système de protection peut être matérialisé (l'agent chimique reste dans le réacteur ou est transféré de façon étanche dans un conteneur au moyen de conduites) ou virtuel (produits manipulés dans une enceinte ventilée et normalisée). Les concentrations atmosphériques résiduelles sont très faibles, souvent aux limites de détection des techniques usuelles d'analyse dans l'air au poste de travail, de l'ordre du µg/m ³ (aérosols) ou de la dizaine de ppb (vapeurs) Exemple : boîte à gant, sorbonne ou PSM de haute efficacité sous réserve que l'alinéa précédent soit vérifié

MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES

- *Détermination de l'indice de durée*

Indice de durée (ID)	Durée de mise en œuvre de l'agent chimique
2	< 5 min
1	5 à 45 min
0	> 45 min ou si toxique aigu (**)

Lorsque le produit chimique manipulé est un toxique aigu, l'ID sera déterminé à 0. Les phrases de risques correspondant à ce type de produit sont :

- 20, 21, 22, 20/21, 20/22, 21/22, 20/21/22
- 23, 24, 25, 23/24, 23/25, 24/25, 23/24/25
- 26, 27, 28, 26/27, 26/28, 27/28, 26/27/28
- 39/23, 39/24, 39/25, 39/23/24, 39/23/24, 39/24/25, 39/23/24/25
- 39/26, 39/27, 39/28, 39/26/27, 39/26/28, 39/27/28, 39/26/28
- 65
- 68/20, 68/21, 68/22, 68/20/21, 68/20/22, 68/20/22, 68/20/21/22

- *Détermination de l'indice de fréquence*

Indice de fréquence (IF)	Fréquence de mise en œuvre de l'agent chimique
2	< 1 jour/mois
1	1 à 3 jours/mois
0	> 1 jour/semaine

L'indice de fréquence se détermine à l'aide de la fréquence de manipulation du produit chimique. Au plus la fréquence d'utilisation est élevée, au plus l'indice de cotation sera important également.

- *Détermination de l'indice relatif aux caractéristiques physico-chimiques*

La tension de vapeur du produit nous permet quant à elle de déterminer l'indice relatif aux caractéristiques physico-chimiques.

IPC = -1	Tension de vapeur > 70 hPa (volatil)	Substance solide sublimable ou pulvérulente – aérosol (diamètre aérodynamique < 100 µm)	Gaz
IPC = 0	Tension de vapeur entre 1 et 70 hPa	Etat intermédiaire	
IPC = 1	Tension de vapeur < 1 hPa (peu volatil)	Substance solide non sublimable, ou non pulvérulente	

Dans certains cas, la tension de vapeur n'est pas spécifiée, pour cela, nous avons une autre alternative à notre disposition : la température d'ébullition.

IPC=-1	T°ébullition ≤ 75°C
IPC=0	75°C < T°ébullition ≤ 250°C
IPC=1	T°ébullition > 250°C

Dans un dernier temps, si la température d'ébullition n'est pas indiquée non plus, alors la cotation la plus pénalisante sera admise au produit chimique évalué : **-1**.

- *Identification du niveau de risque*

Dans un dernier temps, il est nécessaire de hiérarchiser les risques par ordre de priorité. Pour cette opération, le CEA met à disposition une matrice impliquant deux paramètres : IP et Indice de danger.

Grace à cette matrice, nous pouvons alors croiser les différentes données et ainsi déterminer l'ordre de priorité des risques chimiques engendrés par l'utilisation des produits.

Indice de danger \ Indice de protection (IP)	1	2	3	4	5
≤1	Niveau 2		Niveau 3		
2					
3	Niveau 1 Hors CMR 1&2 (1A/1B)		Niveau 3		
4					
5 et plus	Niveau 1 Hors CMR 1&2 (1A/1B)		Niveau 3		
dont IC=5					

Résumé



Les fumées de soudage représentent un **risque professionnel** important pour les soudeurs. Chargées d'agents cancérigènes tels que le chrome VI ou le nickel, il est capital de **protéger** les travailleurs de ces émanations. Cependant les mesures de prévention peuvent être difficiles à mettre en place, notamment lorsque l'environnement de travail est un **tokamak**.

La **complexité** est de protéger les salariés, tout en leur permettant de réaliser leur activité avec la perfection exigée dans le milieu nucléaire.

Dans cette configuration, il est judicieux d'établir un **programme de prévention** en collaboration avec les travailleurs concernés. Le plan choisi est plus efficace lorsqu'il comporte des actions impactant les aspects techniques, humains et organisationnels. Enfin, une analyse poussée du poste de travail est primordiale afin de connaître toutes les particularités du poste.



Welding fumes represent a significant **professional risk** for welders. Loaded with carcinogens agents as chromium VI or nickel, it is vital **to protect** workers from these fumes. However, prevention measures can be difficult to implement, especially when the working environment is a **tokamak**.

The **complexity** is to protect the employees, while allowing them to carry out their activity with the perfection required in the **nuclear environment**.

In this configuration, it makes sense to establish a **prevention program** in collaboration with the workers concerned. The chosen plan is more effective when it includes actions that affect the technical, human and organizational aspects. Finally, an in-depth analysis of the workstation is paramount to know all the job specifications.