

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET METIERS

Centre de Paris

Mémoire

Présenté en vue d'obtenir le

Diplôme d'ingénieur Prévention des risques

Par

Nicolas Caudy

« EVALUATION DU RISQUE LASER »

Soutenu le 2 octobre 2019

Président du Jury : M. William Dab – Professeur du Cnam

Assesseurs : Mme. Mounia Hocine – Maitre de conférence
Mme. Maité Sylla – Maitre de conférence
M. Jérôme Lanfranca – Ingénieur en Prévention des risques

Maître de Stage : Mme. Sandrine Rateau - Chef de la Cellule QSE du CEA Paris-Saclay

Tuteur académique : M. William Dab – Professeur du Cnam

« L'amour n'est pas aveugle, il est visionnaire ! Il perce les carcasses et les couvertures. C'est un laser d'une force incommensurable qui, le temps d'un éclair, vous montre la vraie nature de l'aimé et vous met en folie. » Christiane Singer

Donner du sens à sa vie, Marc de Smedt, Ed. Albin Michel, mars 2012

REMERCIEMENTS

Je voudrais tout d'abord remercier mes tuteurs, M. William Dab et Mme Sandrine Rateau pour leur écoute et leurs critiques toujours positives et constructives.

Merci donc M. William Dab d'avoir su prendre de votre temps pour diriger mes recherches et relire mes documents, mais merci surtout à toutes ces choses que vous m'avez enseignées pendant toutes ces années au CNAM. Elles n'ont fait que renforcer mes envies d'exercer ce métier.

Merci à Mme. Sandrine Rateau, qui m'a accueilli au sein de son service, en me donnant toute sa confiance pour effectuer des tâches d'ingénieur. Toujours à l'écoute, toujours un petit moment pour moi malgré un emploi du temps de ministre. Soutien important dans les décisions que j'ai dues prendre.

Un remerciement tout spécial à mon mentor, M. Christophe Créminon qui m'a fait découvrir le monde de la prévention et m'a donné le goût de bien faire. Sans lui je n'aurais pas repris mes études, soutien indéfectible pendant presque 8 ans de collaboration et même encore maintenant lors d'une pause-café.

Merci bien sûr à toutes celles et ceux qui m'entourent depuis toujours, amis, famille qui ont su tout au long de ces 5 années de CNAM me supporter, me comprendre, m'encourager, me motiver, m'aimer. Ça n'a pas toujours été facile, le bateau a souvent pris l'eau mais n'a jamais chaviré.

Thank you to all my friends from all over the world who taught me how to live and how to be happy despite all the bad things that have happened to me.

A special thanks to the one who share my life now and with whom I have very big projects.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	8
1. CONTEXTE	9
1.1. PRESENTATION DE L'ENTREPRISE	9
1.1.1. <i>Le Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives (CEA)</i>	9
1.1.2. <i>Le CEA Paris-Saclay</i>	9
1.1.3. <i>L'Établissement de Saclay</i>	9
1.1.4. <i>La Cellule Qualité Sécurité Environnement</i>	9
1.2. LE LASER	10
1.2.1. <i>Généralités sur les lasers</i>	11
1.2.2. <i>Le risque Laser</i>	13
1.2.3. <i>Classes de danger des Lasers</i>	15
1.2.4. <i>La réglementation</i>	15
1.2.5. <i>Les normes</i>	17
1.2.6. <i>Les formations sécurité (labellisées CNSO)</i>	18
1.2.7. <i>Le retour d'expérience, les accidents</i>	19
1.2.8. <i>L'environnement</i>	19
2. MATERIEL ET METHODE	21
2.1. METHODOLOGIE DE L'ÉVALUATION DES RISQUES AU CEA.....	21
2.1.1. <i>Les unités de travail et sources de danger</i>	21
2.1.2. <i>La cotation des risques</i>	21
2.2. MATERIEL.....	22
2.2.1. <i>Design de l'outil</i>	23
2.2.2. <i>Simulation / β-test</i>	27
2.2.3. <i>Analyses des données</i>	28
2.2.4. <i>Correction</i>	29
2.3. DEPLOIEMENT DE L'OUTIL	29
2.3.1. <i>Cercle sécurité</i>	30
2.3.2. <i>Renseignements préparatoires</i>	30
2.3.3. <i>Évaluation</i>	31
3. RESULTAT	33
3.1. RECUEIL ET CONTROLE DES INFORMATIONS MIPS.....	33
3.2. ÉVOLUTION DE MIPS	33
3.3. LA CARTOGRAPHIE.....	34
3.4. VERS UN RISQUE NON PRIORITAIRE	37
3.4.1. <i>Plan d'actions détaillé</i>	37
3.4.2. <i>Suivi des plans d'action</i>	38
DISCUSSION	40
CONCLUSION	41
BIBLIOGRAPHIE	42

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 :	EMISSION DE PHOTON	11
FIGURE 2 :	PRINCIPE DE L'OSCILLATEUR LASER	12
FIGURE 3 :	INTERVALLES DE LONGUEURS D'ONDE DES RAYONNEMENTS.....	12
FIGURE 4 :	EFFET DU SPECTRE EN SEPT BANDES SUR L'ŒIL ET LA PEAU, GT « SECURITE LASER »	14
FIGURE 5 :	STRUCTURE OCULAIRE ET DETAIL DU FOND D'ŒIL	14
FIGURE 6 :	PRINCIPES DE CONVERSIONS ENTRE CES QUATRE UNITES	24
FIGURE 7 :	CARTOGRAPHIE REALISEE SUITE A L'INVENTAIRE LASER DE 2017.....	35
FIGURE 8 :	CARTOGRAPHIE DU RISQUE EN PHASE D'EXPLOITATION EN AOUT 2019.....	35
FIGURE 9 :	CARTOGRAPHIE DU RISQUE EN PHASE DE REGLAGE EN AOUT 2019	36
FIGURE 10 :	PHOTO D'UN EQUIPEMENT LASER SANS PROTECTION	38
FIGURE 11 :	MESURES COMPENSATOIRES SUR LE MEME EQUIPEMENT.....	39
FIGURE 12 :	PROTECTION DEFINITIVE DU BANC DE SOUDURE	39

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 :	COMPARAISON DU PARC LASER ENTRE 2013 ET 2017 AU CEA PARIS-SACLAY.....	22
TABLEAU 2 :	PARAMETRES ESSENTIELS POUR DEFINIR LA CLASSE DE DANGER DU FAISCEAU ACCESSIBLE	24
TABLEAU 3 :	CALCUL DE CONVERSION	25
TABLEAU 4 :	RAPPORT DE L'EXPOSITION VERSUS LA VALEUR LIMITE D'EXPOSITION	25
TABLEAU 5 :	TABLEAU D'ENTREE DES PARAMETRES DE SORTIE DU FAISCEAU	25
TABLEAU 6 :	DISTANCE DE DANGER POUR LES YEUX ET POUR LA PEAU	25
TABLEAU 7 :	SUPPLEMENTS FORMATION ET LOGICIELS PROFESSIONNELS	26
TABLEAU 8 :	LUNETTES DE PROTECTION MINIMALE	26
TABLEAU 9 :	PONDERATION DE L'EXPOSITION AU RISQUE	26
TABLEAU 10 :	EXTRAIT DU QUESTIONNAIRE DE CONFORMITE REGLEMENTAIRE	27
TABLEAU 11 :	CODE COULEUR DU QUESTIONNAIRE DE CONFORMITE REGLEMENTAIRE.....	27
TABLEAU 12 :	DONNEES RECUEILLIES DES FICHIERS RETOURNES PAR LES BETA-TESTEURS	28
TABLEAU 13 :	PLAN D'ACTION AVEC JUSTIFICATIONS DE NON PRISE EN COMPTE DE LA REGLEMENTATION.....	29
TABLEAU 14 :	CRITERES D'ATTRIBUTION DES COTATIONS FREQUENCE X GRAVITE.....	32
TABLEAU 15 :	COTATION DE LA FREQUENCE, CEA GT LASER 2015	32
TABLEAU 16 :	RESUME DE LA COTATION DE LA GRAVITE DU RISQUE « FAISCEAU LASER », CEA GT LASER 2015	32
TABLEAU 17 :	COMPARAISON DES COTATIONS AVANT ET APRES LA DEMARCHE D'EVALUATION DU RISQUE LASER.....	34
TABLEAU 18 :	MATRICE DE COTATION DU RISQUE FREQUENCE/GRAVITE, CEA DSSN/PMR 2008	34
TABLEAU 19 :	EXEMPLE D'UN PLAN D'ACTION ISSU DE L'OUTIL APRES EVALUATION.....	37

GLOSSAIRE

Angle de divergence : La **divergence de faisceau** est une mesure angulaire de l'augmentation du diamètre ou du rayon du faisceau avec la distance de l'ouverture optique ou de l'ouverture d'antenne à partir de laquelle le faisceau électromagnétique émerge.

Coefficient de réflexion de la cible : Rapport du flux énergétique réfléchi au flux incident dans les conditions données.

Diamètre apparent : Angle plan qui est sous-entendu par un arc de cercle, étant le rapport de la longueur d'arc à son rayon.

Distance focale de la lentille convergente : On appelle distance focale image la distance séparant le centre de la lentille au foyer image.

Distance Nominale de Danger Oculaire (DNDO : ex-DNRO) : Distance à partir de l'ouverture de sortie, pour laquelle l'éclairement ou l'exposition énergétique du faisceau reste supérieur(e) à l'Exposition Maximale Permise (EMP) appropriée au niveau de la cornée.

Durée d'émission :

- En mode impulsionnel : intervalle de temps entre la montée et la descente d'une impulsion, mesurée à mi-hauteur en puissance.
- En mode continu : Temps durant lequel le laser reste en fonctionnement.

Émission Maximale Permise (EMP) ou Valeur Limite d'Exposition (VLE) : Niveau du rayonnement laser maximal auquel des personnes peuvent être exposées dans les conditions normales sans subir des effets nuisibles.

Faisceau accessible : Faisceau pouvant être accessible à l'homme en tout point du corps par interférence directe ou par réflexion spéculaire ou diffuse.

Faisceau transformé : Faisceau dont les paramètres ont été modifiés à l'aide de miroirs, de lentilles ou d'autres éléments optiques.

Faisceau focalisé : Faisceau dont on concentre le rayon provenant d'un point en un autre point à l'aide de lentilles ou d'autres éléments optiques.

Fibre optique monomode : C'est une fibre optique conçue pour porter directement la lumière au centre du cœur de la fibre sans toucher ses parois.

Fibre optique multimode : La fibre multimode possède un cœur de grand diamètre par rapport à la fibre monomode et contrairement à celle-ci, la lumière est conduite par réflexion à l'intérieur du cœur. Elle permet le passage de plusieurs longueurs d'onde lumineuses.

Fréquence : Nombre d'impulsion par seconde. Par exemple 1000 Hz sont égaux à 1000 impulsions par seconde.

Limite d'Emission Accessible (LEA) : Niveau de rayonnement maximal déterminé en un point.

Longueur d'onde : Grandeur physique homogène à une longueur, caractéristique d'une onde monochromatique dans un milieu homogène.

Ouverture Numérique : L'ouverture numérique d'une fibre optique est la valeur maximale que peut prendre le sinus de l'angle d'acceptance. Au-delà de cette valeur, des pertes par réflexion seront occasionnées au sein de la fibre.

Puissance crête : Puissance maximale délivrée durant le temps d'une impulsion.

Puissance moyenne : Puissance délivrée le temps d'une période : $T=1/f$.

Réflexion diffuse : La réflexion diffuse a lieu lorsque l'image n'est pas conservée et que c'est plutôt son énergie qui est réfléchi. Dans ce cas, si la surface réfléchissante (l'interface) est irrégulière, les rayons réfléchis ne sont alors pas parallèles aux rayons incidents, et donc seule la surface est illuminée.

ABREVIATIONS

AS	A nimateur S écurité
C2N	C ontrôle de 2 ^{ème} Niveau
CCSIMN	C ellule de C ontrôle de la S écurité des I NB et des M atières N ucléaires
CEA	C ommissariat à l' É nergie A tomique et aux É nergies A lternatives
CI	C hef d' I nstallation
CIRC	C entre I nternational de R echerche sur le C ancer
CLS	C ommission L ocale de S écurité
CNSO	C ommission N ationale de S écurité O ptique
CQSE	C ellule Q ualité S écurité E nvironnement
DANS	D irection des A ctivités N ucléaires de S aclay
DEN	D irection de l' É nergie N ucléaire
DNDO	D istance N ominale de D anger O culaire
DNRO	D istance N ominale de R isque O culaire
DRF	D irection de la R echerche F ondamentale
DRT	D irection de la R echerche T echnologique
DSSN	D irection de la S écurité et de la S ûreté N ucléaire
EMP	E nergie M aximale P ermise
EvRC	É valuation du R isque C himique
EvRL	É valuation du R isque L aser
EvRP	É valuation des R isques P rofessionnels
EvRR	É valuation du R isque R adiologique
GINA	G estion I nformatisée N ationale des A ccidents
GT	G roupe de T ravail
ICPE	I nstallation C lassée pour la P rotection de l' E nvironnement
I2EN	I nstitut I nternational de l' E nergie N ucléaire
INB	I nstallation N ucléaire de B ase.
INSTN	I nstitut N ational des S ciences et T echniques N ucléaires.
IR	I nfra R ouge
IRSN	I nstitut de R adioprotection et de S ûreté N ucléaire
ISI	I ngénieur S écurité d' I nstallation
J	J oule
LASER	L ight A mplification by S timulated E mission of R adiation
LEA	L imite d' E mission A ccessible
LHA	L aboratoire H aute A ctivité
MIPS	M odule d' I nformation P atrimoine et S écurité
MOSAR	M éthode O rganisée S ystémique d' A nalyse des R isques
NIG	N ote d' I nstruction G énérale
PCPRP	P ersonne C ompétente en P révention des R isques P rofessionnels
PCSL	P ersonne C ompétente en S écurité L aser
PERL	P ersonne E xposée aux R isques L aser
PISL	P ersonne I nformée à la S écurité L aser
TGIR	T rès G randes I nfrastructures de R echerche
TOUCAN	T raitement par O rdinate U r de la C odification des A ctivités N ominatives
UV	U ltra V iolet
VLE	V aleur L imite d' E xposition
W	W att

INTRODUCTION

Le laser est une technologie créée au 20^{ème} siècle selon le principe décrit dès 1916 par Albert Einstein (1) qui, par amplification de la lumière par émission stimulée de radiation, est utilisée dans de nombreux domaines (2). Les usages d'une telle technologie deviennent de plus en plus fréquents et le danger qu'elle représente est réel (3). Le risque émergent de ce type de nouvelle technologie amène chaque année de nouvelles lois (4–6), de nouvelles normes (7–9) qui parfois peuvent se croiser et se contredire. De plus, l'avancement de la technologie permet une utilisation des lasers dans tous les domaines de recherche et notamment au Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives (CEA) de Paris-Saclay où les domaines de recherches scientifiques et techniques sont multiples (10).

Depuis le dernier accident en 2013 qui avait conduit à l'inventaire du parc Laser du site, le suivi du risque laser n'a pas été réellement opérationnel. Par manque d'effectif dans la Cellule Qualité Sécurité et Environnement (CQSE), l'évaluation du risque laser était déléguée principalement aux PCPRP (Personnes Compétentes en Prévention des Risques Professionnels appelées Ingénieurs Sécurité d'Installation –ISI ; et animateurs Sécurité –AS ; au CEA) qui se référaient aux documents émis par le Groupe de Travail Laser (GT Laser) via la Direction de la Sécurité et de la Sûreté Nucléaire (DSSN). Ces documents ont depuis été invalidés car ne correspondaient pas à une évaluation du risque mais en un diagnostic réglementaire. A mon arrivée en 2017, après un nouvel inventaire révélateur (Tableau 1 page 22), il a été urgent de faire réaliser à toutes les installations une vraie évaluation du risque.

Confronté aux PCPRP, aux laséristes, aux biologistes, aux chimistes, aux techniciens ; aux chercheurs ; ... il est apparu important d'avoir une démarche commune et simplifiée en créant un outil informatique d'aide. La création d'un tel outil va-t-elle permettre aux PCPRP et aux préventeurs du risque laser au CEA de Paris-Saclay de réaliser une cartographie fine et détaillée, d'abord locale puis générale, du risque Laser et d'en assurer le suivi dans l'année ? L'objectif de ce mémoire est de répondre à cette question.

A l'aide des normes, des décrets et des travaux déjà réalisés par le GT Laser du CEA, un outil de calculs de danger et de risque sur le logiciel Excel devrait permettre de faciliter l'approche du risque et de vérifier les données. Des ponts avec les logiciels de l'entreprise doivent être réalisés afin d'intégrer parfaitement l'outil dans la démarche HSE déjà existante pour les autres risques. Cet outil sera créé en collaboration directe avec des laséristes expérimentés et des experts de la prévention.

Après un descriptif de l'entreprise et de la sécurité laser, seront exposées dans un premier temps les étapes de fabrication et de maturation de l'outil puis dans un second temps la façon dont il a été testé. Enfin, après le déploiement de l'outil et le recueil des données, la pertinence de l'outil face à la problématique de la gestion du risque laser au sein du CEA Paris-Saclay sera présentée en décrivant la nouvelle cartographie et le plan d'action centre en vue de la réduction du risque qui en résulte.

1. CONTEXTE

1.1. PRESENTATION DE L'ENTREPRISE

1.1.1. LE COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES (CEA)

Reconnu comme un expert dans ses domaines de compétences, le CEA est pleinement inséré dans l'espace européen de la recherche. Il exerce une présence croissante au niveau international (11).

Le CEA, un acteur de la recherche et de l'innovation technologique en Europe. Il intervient dans quatre grands domaines : l'énergie, la défense et la sécurité globale, les technologies pour l'information et les technologies pour la santé, associés à une recherche fondamentale d'excellence, et sur la conception et l'exploitation des très grandes infrastructures de recherche. Implanté sur dix établissements répartis dans toute la France, le CEA bénéficie d'une forte insertion régionale.

Sa stratégie s'articule autour de deux axes principaux : Conseil du gouvernement pour la politique nucléaire (rôle régalien) et appui à la recherche française et aux industriels dans leur déploiement international, dans le domaine de l'énergie nucléaire ainsi que dans tous les autres secteurs d'activités de l'organisme de recherche.

Le CEA dépend de quatre ministères : Ministère de la transition écologique et solidaire, Ministère de l'économie et des finances, Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation et Ministère des armées.

1.1.2. LE CEA PARIS-SACLAY

Le centre CEA Paris-Saclay est un centre de recherche et d'innovation. Il fait partie de la Communauté d'Universités et d'établissements « Université Paris-Saclay » qui représente environ 15% de la recherche française (12).

Pluridisciplinaire, fort de plus de 7 000 chercheurs, il couvre une part importante des activités civiles du CEA, il joue également un rôle prépondérant dans la conception et la réalisation des Très Grandes Infrastructures de Recherche (TGIR).

Le centre CEA Paris-Saclay est principalement localisé à Saclay, Fontenay-aux-Roses et Evry. Il comprend également des unités notamment à Orsay, Paris, Caen et Jouy-en-Josas.

1.1.3. L'ÉTABLISSEMENT DE SACLAY

Au total, plus de 7500 personnes (CEA, collaborateurs et salariés d'entreprises extérieures) y travaillent. Il joue un rôle majeur dans le développement économique régional, en particulier au niveau du plateau de Saclay. Il regroupe des unités et des moyens scientifiques et techniques de la Direction de la Recherche Fondamentale (DRF), de la Direction de l'Énergie Nucléaire (DEN), et de la Direction des Activités Nucléaires de Saclay (DANS).

En outre, l'Établissement de Saclay accueille des unités du CEA implantées de la Direction de la Recherche Technologique (DRT), de l'Institut National des Sciences et Techniques du Nucléaire (INSTN), ainsi que des unités hébergées exploitées par des entreprises ou des organismes extérieurs (AREVA-TA, AREVA-NC, IRSN, EURISOTOP, IBA, I2EN).

1.1.4. LA CELLULE QUALITE SECURITE ENVIRONNEMENT

En appui du directeur de centre, la Cellule Qualité Sécurité Environnement (CQSE) intervient sur l'ensemble du périmètre du CEA Paris-Saclay dans les domaines suivants :

- Hygiène, Sécurité conventionnelle et conditions de travail ainsi que dans la maîtrise des risques industriels, facteurs humains et organisationnels, maîtrise de l'environnement et exploitations des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE),
- Sécurité des transports de marchandises dangereuses (hors classe 7),

- Gestion et détention des sources radioactives,
- Gestion des déchets conventionnels,
- Radioprotection (contrôle de 2^{ème} niveau).

Dans les domaines et périmètres définis ci-dessus, la CQSE :

- Exerce pour le compte du directeur de centre, les missions relevant de la fonction de contrôle telle que définie par une Note d'Instruction Générale - NIG (contrôle de deuxième niveau C2N, visites de sécurité d'installations, visites de chantier, etc.),
- Procède à l'évaluation des événements intéressants l'environnement, la sécurité et la radioprotection, ainsi que des accidents et anime le retour d'expérience sur le centre en liaison avec la Cellule de Contrôle de la Sécurité des INB et des Matières Nucléaires (CCSIMN)
- Analyse les évolutions prévues par les installations afin de définir, le niveau d'autorisation (interne ou externe), le mode d'instruction et le calendrier associés,
- Instruit les demandes internes d'autorisation et assure le suivi des prescriptions qui sont formulées dans ce cadre,
- Contribue à la transmission des informations collectées dans le cadre de la veille réglementaire,
- Assure, en appui des installations, les liaisons nécessaires avec les autorités (Autorité de Sûreté Nucléaire, Direction Régionale et Interdépartementale de l'Energie et de l'Environnement, Préfecture, Inspection du travail, Caisse Régionale de l'Assurance Maladie d'Ile de France, Direction Départementale de la Protection des Populations etc.),
- Assure un rôle de conseil au profit des installations et de la direction du centre,
- Participe à la promotion et à la diffusion de la culture de la sécurité, qualité et environnement auprès de l'ensemble du personnel du centre.

Riche d'une quinzaine de chargés d'affaire, la CQSE a réparti les fonctions par spécialité. Il existe toutefois des rôles communs à tous les chargés d'affaires : le conseil aux installations, les visites de sécurité, le contrôle de conformité, les analyses de risques et la participation aux Commissions Locales de Sécurité (CLS). Certains des chargés d'affaires possèdent toutefois les compétences nécessaires à la gestion d'un risque particulier : Electrique, incendie, électromagnétisme, équipement sous pression, ICPE, biologique, optique et photonique, chimique, ... Et d'autres à la gestion de situations particulières : Etablissement recevant du public, accident du travail, gestion de l'accueil des entreprises extérieures, gestion de crise, ...

L'ingénieur sécurité d'Etablissement, chef de la CQSE, m'a confié la tâche de gérer le risque « optique » et plus spécifiquement, du risque optique artificiel cohérent (les Lasers) et le risque biologique ainsi que la sécurité conventionnelle de vingt installations (tertiaires, scientifiques, ICPE et Installation Nucléaire de Base) et de la gestion du zonage déchet de l'Etablissement de Saclay (zonage déchets : zonage des locaux pouvant ou non produire des déchets radioactifs).

1.2. LE LASER

Les lasers font appel à des techniques variées pour la production de faisceaux électromagnétiques situés dans l'ensemble des longueurs d'onde : Ultraviolet, visible et Infrarouge. Ils ont des applications dans les domaines les plus divers et sont actuellement utilisés aussi bien dans l'industrie que dans la recherche ou dans le médical.

De nombreux corps de métiers les emploient : géomètres, bâtiment, travaux publics, métallurgie, médecine, armée, spectacle... et ils rentrent de plus en plus dans le domaine grand public (lecteur de disque par exemple).

Les risques que leur usage entraîne sont de nature et de gravité très diverses et sont fonction de nombreux paramètres (Cf. : 1.2.1.2).

Les utilisateurs de lasers méconnaissent ou négligent quelquefois certains de ces risques. La complexité des données à considérer les laisse souvent perplexes. Beaucoup ne savent pas quelles sont les précautions à prendre pour obtenir une bonne sécurité dans l'emploi de leurs lasers. Le problème de la sécurité du travail se pose de façon encore plus aiguë quand le laser sert d'instrument de recherche dans un laboratoire. Ceci rend impossible ou prohibitif l'emploi de certaines méthodes de protection, utilisables dans des installations fixes. La sécurité repose alors en bonne partie sur une excellente connaissance de la nature des risques, des moyens permettant de les éviter et sur la stricte observation de certaines règles d'emploi.

Pouvant faire partie des risques émergents par cette utilisation de plus en plus complexe et présente, la réglementation finit par suivre tant au niveau international qu'eupéen et national. L'approche de la réglementation est effectuée par des spécialistes la plupart du temps et l'opérateur et/ou la personne en charge de la sécurité Laser dans l'installation a parfois du mal à comprendre les évolutions. Les formations initiales et les recyclages permettent à ces derniers de se tenir au courant. Cependant, l'occurrence de ces rappels ne permet pas à ceux qui manipulent peu les lasers d'être à l'aise.

1.2.1. GENERALITES SUR LES LASERS

1.2.1.1. Rappels

Le mot LASER est un acronyme qui signifie "Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation" : amplification de lumière par émission stimulée de rayonnement. L'émission de lumière par un corps quelconque est fondée sur la propriété d'un atome ou d'une molécule, porté dans un état excité, de revenir à son état initial stable en émettant un photon. Cette émission peut se produire de manière spontanée ou stimulée (13).

Dans le premier cas (Figure 1, a), la désexcitation d'un électron pour revenir à son état fondamental entraîne la libération d'un photon. En revanche, lorsqu'un photon, produit par le retour à un état désactivé, rencontre un autre atome ou une autre molécule à l'état excité (Figure 1, b), l'interaction aboutit à l'émission d'un second photon rigoureusement en phase avec le premier. Ces interactions vont donner naissance à une lumière cohérente telle que tous les photons sont en phase (cohérence spatiale et temporelle).

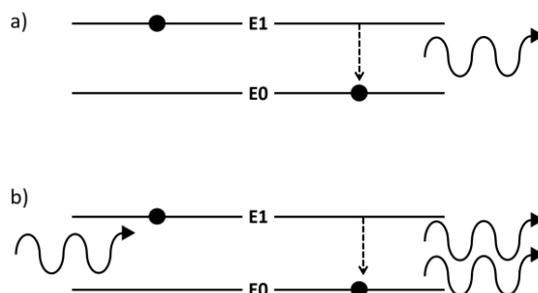


Figure 1 : Emission de photon
a) Emission spontanée. b) Emission stimulée.

En premier lieu, il importe d'obtenir une véritable synchronisation des processus de désactivation : ceci n'est possible que si une proportion majoritaire des atomes ou molécules se trouve dans le même état excité. L'oscillateur laser (Figure 2) contenant un milieu amplificateur, permet grâce à un apport d'énergie l'inversion de l'état de la population

électronique et par un jeu de miroir contraint le flux de photons de traverser un grand nombre de fois la substance émissive, multipliant artificiellement les rencontres entre photons et atomes excités, l'émission est de plus en plus riche en photons en phase, elle est "amplifiée". Cette émission lumineuse intense et cohérente est l'effet laser.

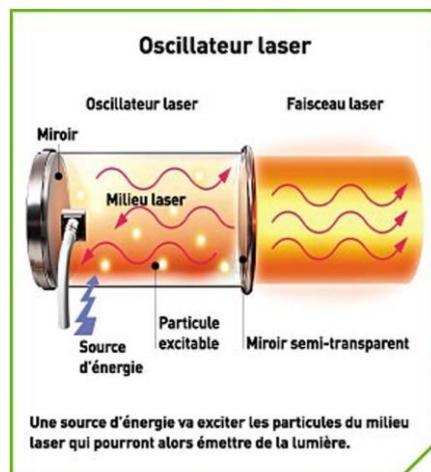


Figure 2 : Principe de l'oscillateur laser

Les propriétés du faisceau laser sont influencées par la nature du milieu amplificateur et la forme de la cavité optique et ses caractéristiques sont essentiellement :

- Une grande directivité,
- Une très faible divergence, typiquement < 1 mrad,
- En général, une faible section d'émission, de quelques μm^2 à quelques cm^2 ,
- Une cohérence spatiale et temporelle,
- Dans la majorité des cas une monochromaticité du rayonnement.

Il en résulte que la densité de puissance ou d'énergie du faisceau demeure importante à grande distance de la source laser.

1.2.1.2. Caractéristiques physiques des rayonnements laser

Les dangers présentés par l'utilisation des lasers et plus particulièrement ceux dus au faisceau, sont liés aux atteintes oculaires et cutanées. La détermination des valeurs limites d'exposition impose de connaître les relations entre les paramètres physiques de l'émission et les paramètres biologiques des organes cibles que sont l'œil et la peau.

Les paramètres physiques de l'exposition varient selon le type de laser utilisé, ce sont :

- La longueur d'onde :

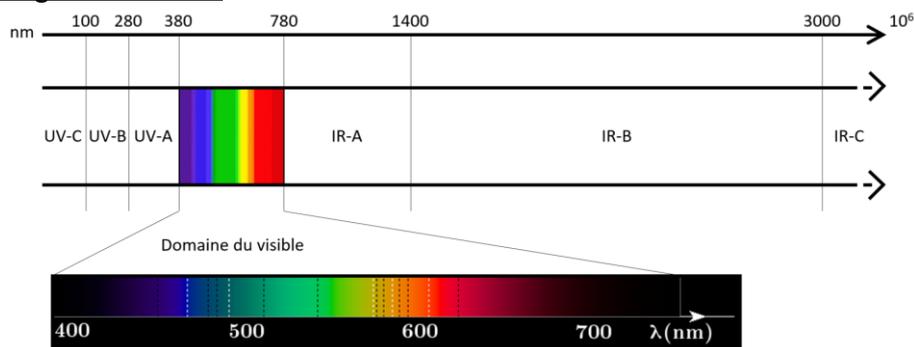


Figure 3 : Intervalles de longueurs d'onde des rayonnements

Comme le montre la figure 3, l'œil perçoit les photons entre 400 et 700nm, cependant il est possible à l'œil de détecter des photons en dehors de cet intervalle comme l'illustrent les courbes de réponse de l'œil en fonction de la longueur d'onde en vision de jour ou en vision de nuit (14).

- La durée de l'exposition : Les mécanismes d'action sont différents selon que l'exposition est instantanée ou itérative, que le laser soit continu ou impulsionnel. Dans ce dernier cas, il y a lieu de tenir compte de la durée totale T de l'exposition mais aussi de la durée t de chaque impulsion, de leur nombre N ou de leur fréquence F. Les durées sont généralement exprimées en seconde (s), la fréquence est exprimée en Hertz (Hz).
- L'énergie ou la puissance de l'émission : C'est ce paramètre qui conditionne l'importance de l'interaction rayonnement-tissu et plus particulièrement l'élévation en température de ce tissu.
- Dimensions du faisceau laser : Pour les Valeurs Limites d'Exposition (VLE), les dimensions du faisceau laser n'interviennent pas directement. Néanmoins, les VLE font intervenir le concept de diaphragme limite notamment lorsque les VLE sont comparées aux densités d'énergie ou de puissance qui sortent des installations laser.

1.2.2. LE RISQUE LASER

Il se compose des risques induits par le faisceau laser (directement ou indirectement), et des risques générés par le fonctionnement du laser (alimentation électrique, génération d'UV, colorant ...). Ces derniers sont souvent répertoriés sous le vocable risques « hors faisceau ». La prévention du risque repose notamment sur l'identification des situations dangereuses et sur une évaluation des risques, exhaustive et rigoureuse afin de mettre en place une démarche de prévention reposant sur les 9 principes généraux de prévention.

1.2.2.1. Risques liés au faisceau laser

Les risques « faisceau » se subdivisent en 2 catégories :

- La première catégorie est liée au faisceau susceptible d'entrer en contact avec la peau ou l'œil des expérimentateurs présents dans la zone de risques laser. Les réflexions spéculaires ou diffusées de longueur d'onde similaire à celle du rayonnement incident font partie de cette catégorie,
- La deuxième catégorie englobe les risques résultant de l'interaction entre le faisceau laser et les éléments sur son passage :
 - Réémission du rayonnement avec un changement de longueur d'onde (effet Raman, luminescence, fluorescence, ...),
 - Absorption par les matériaux, ce qui peut induire des élévations de températures générant des transformations de matière ou de phase accompagnées ou non d'émission de gaz, de flamme (incendie), de chocs thermiques entraînant ou non des fractures dans les matériaux avec des risques potentiels supplémentaires résultant d'une perte de maîtrise de la propagation ou de la diffusion du faisceau,
 - Modifications chimiques par rupture de liaisons.

L'importance et la génération de ces effets dépendent de caractéristiques physiques des rayonnements laser (Cf. :§ 1.2.1.2).

1.2.2.1.1. Mécanismes d'interaction du faisceau sur l'homme

La nature des dommages induits sur l'homme par le faisceau laser varie en fonction des propriétés optiques des tissus exposés, et des paramètres de l'émission. Dans tous les cas, pour générer un dommage, il faut un couplage entre le faisceau laser et le tissu correspondant. Ce couplage se réalise par des absorptions macroscopiques ou localisées. Les différents effets sont :

Des effets thermiques, des effets photochimiques, des effets photo-ablatifs et parfois d'autres effets plus exceptionnels (15).

Les expositions prolongées à la lumière sont mal connues. Pour illustration, mentionnons les expositions prolongées et répétées au soleil ou dans les cabines de bronzage susceptibles de provoquer des complications de santé. Les UVA, les UVB, ainsi que le rayonnement solaire, sont classés cancérogènes avérés pour l'homme (groupe 1 du Centre international de recherche sur le cancer -CIRC) (16).

En résumé, la plupart de ces mécanismes d'interaction rayonnement-matière sont généralement présents à des degrés variables et dépendent des paramètres physiques de l'émission et de la nature de la cible touchée. Dans la majorité des cas, en sécurité laser, le détail du processus du dommage n'est pas essentiel. L'important est de tout faire pour que les dommages ne se produisent pas en circonscrivant les risques.

1.2.2.1.2. Danger pour l'œil et la peau

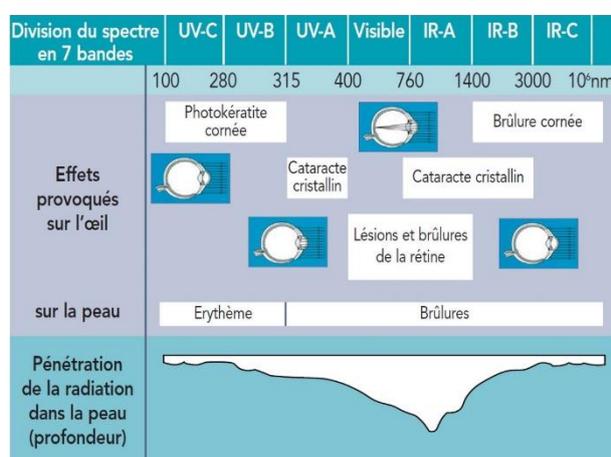


Figure 4 : Effet du spectre en sept bandes sur l'œil et la peau, GT « Sécurité Laser », CEA all rights reserved, février 2005

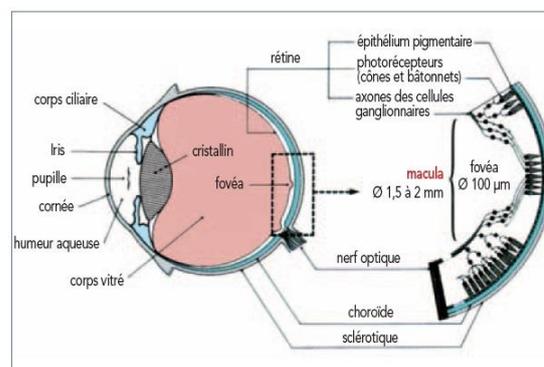


Figure 5 : Structure oculaire et détail du fond d'œil

Effet sur la peau : La profondeur et l'impact sur la peau dépendent de la longueur d'onde et de la puissance du faisceau. On note sur la figure 4 que le visible et le proche Infrarouge peuvent causer les dégâts les plus importants.

Effets sur l'œil : La photokératite de la cornée, la cataracte du cristallin ou les brûlures cornéennes sont possibles dans les ultraviolets comme dans les infrarouges (Figure 4). La zone de danger la plus importante pour l'œil est le domaine du visible car le rayonnement atteint la rétine avec un gain focal de $5 \cdot 10^5$. L'acuité visuelle et la vision des couleurs sont l'apanage de la macula avec ses cônes (Figure 5), petite zone creusée en son centre d'une fossette : la fovéa. C'est à ce niveau que se fait l'image du point de fixation (point que l'on fixe du regard). Sa destruction, même partielle est invalidante. Une atteinte couvrant 2° du champ visuel, centrée sur la fovéa, réduit l'acuité visuelle de 50%. Si la lésion couvre 5° , l'acuité est diminuée d'environ 70%. La diminution de l'acuité visuelle est toujours le signe d'une atteinte de la région maculaire, qu'elle soit la conséquence d'une lésion anatomique ou d'un simple éblouissement. A l'inverse, une lésion de la rétine périphérique recouverte de bâtonnets (cellules percevant les mouvements mais ne différenciant pas les couleurs, cellules utilisées pour la vision nocturne), peut passer inaperçue et n'être révélée qu'à l'occasion d'un examen du fond d'œil ou du champ visuel.

1.2.2.2. Risques « hors faisceau »

Les risques hors faisceau sont de plusieurs natures et dépendent spécifiquement de l'équipement. L'évaluation de ces risques n'a pas fait partie de mon stage car la prévention de ces risques a été pris en charge par mes collègues spécialisés dans le domaine concerné.

Toutefois, voici une liste non exhaustive des risques pouvant être rencontrés : électrique ; chimique ; génération de poussières, de vapeurs ou d'aérosols ; brûlure, incendie ; bruit ; cryogénie ; rayonnement X ; ...

1.2.3. CLASSES DE DANGER DES LASERS

Les classes de danger laser ont été définies en fonction de leur impact sur la santé et sur l'environnement (8). Celles-ci se décomposent en 8 catégories :

- **Classe 1** : Faisceau laser inaccessible ou sans danger ($< VLE$),
- **Classe 1M** : Lasers à sécurité oculaire sauf en cas de vision à l'aide d'instruments optiques (jumelles, télescopes...),
- **Classe 1C** : Appareils à laser destinés à une application directe du rayonnement laser sur la peau ou les tissus corporels internes dans le cadre de procédures médicales, de diagnostic, thérapeutiques ou cosmétiques. Les expositions oculaires sont empêchées grâce à un ou plusieurs moyens techniques. Le niveau d'exposition de la peau dépend de l'application,
- **Classe 2** : Lasers dans le visible présentant un faible risque où la protection est basée sur un réflexe d'aversion (Réflexe palpébral et/ou déviation du regard). Il est à sécurité oculaire en dessous de 0.25 sec. Il peut présenter des risques avec une vision intentionnelle,
- **Classe 2M** : Idem à la classe 2 sauf en cas de vision à l'aide d'instruments optiques (jumelles, télescopes...),
- **Classe 3R** : Appareils à laser qui émettent des rayonnements pouvant dépasser l'Émission Maximale Permise (EMP) pour une vision directe dans le faisceau, mais le risque de lésion dans la plupart des cas est relativement faible,
- **Classe 3B** : Appareils à laser qui sont normalement dangereux lorsque l'exposition oculaire dans le faisceau se produit (à l'intérieur de la DNDO : Distance Nominale de Danger Oculaire), y compris une exposition de courte durée accidentelle. La vision de réflexions diffuses est normalement sans danger,
- **Classe 4** : Appareils à laser pour lesquels la vision dans le faisceau et l'exposition de la peau sont dangereuses, et pour lesquels la vision de réflexions diffuses peut être dangereuse. Ces lasers représentent aussi souvent un danger d'incendie.

1.2.4. LA REGLEMENTATION

L'aspect réglementaire et les référentiels, qui ne sont pas spécifiques aux lasers, ne sont pas abordés (comme par exemple la réglementation des équipements de travail, les équipements électriques des machines industrielles, la compatibilité électromagnétique, ...).

Le laser, en tant que tel, n'est pas considéré comme un Equipement de Travail. Attention, un Equipement de Travail peut comporter un laser. Dans ce cas, il faudra respecter la réglementation en vigueur (notamment les décrets 92-766 et 92-767 du 29 juillet 1992).

Pour le domaine public et professionnel, voici d'un point de vue non exhaustif des références législatives françaises qui concernent les lasers :

- Arrêté du 1er mars 2016 relatif aux modalités de l'évaluation des risques résultant de l'exposition aux rayonnements optiques artificiels en milieu de travail.

- Décret n° 2012-1303 du 26 novembre 2012 fixant la liste des usages spécifiques autorisés pour les appareils à laser sortant d'une classe supérieure à 2 (version consolidée au 1er juillet 2013) ;
- Décret n° 2007-665 du 2 mai 2007 relatif à la sécurité des appareils à laser sortant (version consolidée au 1er juillet 2013) ;
- Décret n° 2010-750 du 2 Juillet 2010 : relatif à la protection des travailleurs contre les risques dus aux rayonnements optiques artificiels.

Dans le monde du travail, l'arsenal juridique de la sécurité laser en France s'articule essentiellement autour de ces 3 décrets et d'une façon plus générale autour du code du travail.

1.2.4.1. Décret n°2010-750 du 2 juillet 2010

Le décret n°2010-750 du 2 Juillet 2010 (4), relatif à la protection des travailleurs contre les risques dus aux rayonnements optiques artificiels, est un document législatif donc d'application obligatoire.

Il est issu de la directive européenne (directive 2006/25/CE du 5 avril 2006 relative aux prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques (rayonnements optiques artificiels).

Par conséquent, sur ces sujets, des dispositions similaires concernent l'ensemble des états membres de l'Union Européenne.

Ce décret mentionne :

- Les VLE oculaires et cutanées pour les rayonnements laser et pour les rayonnements incohérents ;
- L'importance de l'évaluation des risques ;
- L'examen de la conception et l'agencement des postes de travail ainsi que leurs maintenances ;
- Que les travailleurs exposés aux risques doivent être informés et formés en fonction de l'évaluation des risques (Cf. : 1.2.6) ;
- Que les expositions aux rayonnements artificiels dangereux ne doivent être qu'accidentelles ;
- Que la classification des sources laser est un élément de prévention à prendre en compte (8) ;
- De prendre en compte l'utilisation par le salarié d'éventuelles substances chimiques photosensibilisantes.

Il rappelle explicitement la nécessité de réaliser une évaluation des risques. L'Evaluation des Risques Professionnels (EvRP) est obligatoire depuis novembre 2001, et s'applique notamment pour les installations avec des lasers sortants. L'employeur doit établir le danger potentiel des installations laser et mettre à disposition les moyens de protections collective et individuelle adéquats.

Les zones où les VLE peuvent être dépassées, doivent être identifiées et les moyens techniques doivent être en place. L'article R 4452-14 de la section 5 mentionne : « *Les lieux de travail où, (...), les travailleurs sont susceptibles d'être exposés à des rayonnements optiques artificiels dépassant les valeurs limites d'exposition définies aux articles R. 4452-5 et R. 4452-6 font l'objet d'une signalisation appropriée. Ces lieux sont en outre circonscrits, lorsque cela est techniquement possible, et leur accès est limité* ». En conséquence, l'accès aux installations de ce type doit être aménagé avec des barrières techniques.

Les personnes susceptibles d'être exposées de façon accidentelle à des rayonnements lumineux doivent avoir un examen médical préliminaire obligatoire (i.e. notamment ophtalmologique).

1.2.4.2. *Autres exigences réglementaires*

L'article 4 bis du décret n° 2007-665 du 2 mai 2007 dans sa version consolidée en vigueur depuis le 1^{er} juillet 2013, par l'intermédiaire du décret n° 2012-1303 du 26 novembre 2012, définit la liste des usages professionnels autorisés pour les appareils à laser de classe supérieure à 2. Dans ces textes, la classe 2, qui est mentionnée, correspond à la définition de la norme NF EN 60825-1 (de janvier 2008).

Les usages professionnels mentionnés sont :

- Fabrication et maintenance des appareils laser,
- Traitement des matériaux,
- Stockage et transmission de données,
- Médical, esthétique,
- Scientifique (amélioration des connaissances, expérimentation scientifique, enseignement),
- Défense, sécurité,
- Aéronautique, spatial, aviation civile,
- Instrumentation, mesurage et capteurs,
- Spectacle et affichage.

1.2.5. **LES NORMES**

Il existe plus d'une vingtaine de normes concernant les lasers (appareils à laser ; système à laser ; etc.). Voici le descriptif des principales normes utilisées pour ce projet.

1.2.5.1. *La norme NF EN 60825-1 (octobre 2014)*

Cette norme (8) a pour objectifs de protéger les personnes contre le rayonnement laser, dans la gamme de longueurs d'onde allant de 180 nm à 1 mm, notamment en indiquant les niveaux de rayonnement laser à ne pas dépasser pour être en sécurité et en introduisant un système de classification des lasers et des appareils à laser.

Les niveaux à ne pas dépasser sont appelés soit EMP (Exposition Maximale Permise), soit VLE (Valeur Limite d'Exposition), expressions qui recouvrent la même notion. Les VLE sont prises en compte pour déterminer si une installation est dangereuse pour les yeux ou pour la peau mais aussi pour choisir les protections individuelles.

La classification se fait en comparant les puissances ou énergies délivrées par les installations aux Limites d'Emission Accessible (LEA) attribuées à chaque classe et permet notamment d'avoir une information synthétique immédiate sur le niveau de dangerosité de l'installation par rapport aux yeux et à la peau des utilisateurs.

Cette norme a aussi pour objectifs :

- D'établir des prescriptions, pour l'utilisateur et le fabricant, en fournissant les informations nécessaires pour établir les procédures et les précautions adéquates,
- D'assurer aux personnes une mise en garde appropriée contre les risques associés au rayonnement accessible des appareils à laser (i.e. faisceau sortant), par signalisation, étiquetage et instructions,
- De diminuer la possibilité d'accident en réduisant le mieux possible le rayonnement accessible inutile et dangereux pour les utilisateurs, de procurer un contrôle des risques liés au rayonnement laser par des procédures et des mesures de protection,
- D'assurer une utilisation sans danger des appareils à laser en spécifiant des mesures à prendre par l'utilisateur,
- De protéger les personnes contre les risques autres que lumineux résultant du fonctionnement et de l'utilisation des appareils lasers.

Attention : Le décret n° 2010-750 du 2 juillet 2010 reprend la majorité des VLE ou EMP de la norme NF EN 60825-1 de janvier 2008 et pas encore de la NF EN 60825-1 d'octobre 2014. Les VLE du décret sont celles qui doivent être appliquées. On peut se tourner vers l'ICNIRP pour avoir plus d'informations sur ce sujet (3).

1.2.5.2. Les normes NF EN 207 et NF EN 208

NF EN 207 (9) : « Protection individuelle de l'œil - Filtres et protection de l'œil contre les rayonnements laser (lunettes de protection laser) », (2010/06/01).

Cette norme concerne les lunettes de protection utilisées contre les rayonnements lasers dans le domaine spectral compris entre 180 nm et 1 mm. Elle définit les spécifications, les méthodes d'essai et le marquage.

NF EN 208 (7) : « Protection individuelle de l'œil - Lunettes de protection pour les travaux de réglage sur les lasers et sur les systèmes lasers (Lunettes de réglage laser) », (2010/02/01).

Cette norme concerne les lunettes de réglage laser. Ce sont des lunettes de protection utilisées pour les travaux de réglage des lasers et des systèmes laser dont le rayonnement (dangereux) se produit dans le domaine spectral visible compris entre 400 nm et 700 nm. Les filtres calculés avec cette norme permettent une atténuation de ce rayonnement jusqu'aux valeurs spécifiées pour les lasers de la classe 2 (≤ 1 mW pour les lasers continus), tout en résistant au flux laser mentionné. Cette norme définit les spécifications, les méthodes d'essai et le marquage de ces lunettes.

1.2.6. LES FORMATIONS SECURITE (LABELLISEES CNSO)

La commission « Sécurité laser » du Comité National de Sécurité Optique (CNSO) a défini un référentiel de formations destinées à répondre à la réglementation relative à la sécurité laser. Les différents niveaux de formation répondent à une dénomination et un contenu précis, garantis par les formateurs et organismes formateurs labellisés par le CNSO :

- **PISL – Personne informée en sécurité laser** : Il s'agit de personnes intervenant à proximité des appareils à laser et n'ayant pas accès à des niveaux de rayonnement supérieurs à la valeur limite d'exposition (VLE). Les classes autorisées sont les classe 1 ; classe 1M ; classe 2 et classe 2M (Ex. : opérateur machine automatisée, personnel d'entretien des locaux, ...),
- **PERL – Personne exposée au risque laser** : Ce sont les personnels intervenant à proximité des appareils à laser et ayant accès à des niveaux de rayonnement supérieurs à la valeur limite d'exposition (VLE). Elles évoluent en zone à risque laser contrôlé, sous couvert d'une procédure validée par une personne compétente. Cette personne est responsable de sa propre sécurité (Ex. : Responsable maintenance sur machine à laser, personnel de bloc opératoire...),
- **PCSL – Personne compétente en sécurité laser** : Les PCSL interviennent sur des appareils à laser et ayant accès à des niveaux de rayonnement supérieurs à l'exposition maximale permise avec manipulation du faisceau. Elles évoluent en zone à risque laser contrôlée et qui participe :
 - Aux évaluations des risques encourus par les travailleurs intervenant à proximité de machines ou d'appareils à laser ;
 - A la mise en œuvre sur le site de toutes les mesures propres à assurer la santé et la sécurité des travailleurs intervenant à proximité de machines, systèmes ou d'appareils à laser ;
 - A l'amélioration continue de la prévention des risques à partir de l'analyse des situations de travail.

La PCSL désignée par le chef d'établissement peut assurer la formation/ l'information des Personnes Informées en Sécurité Laser (PISL). Elle est par ailleurs responsable de sa propre sécurité et celle des autres (Ex. : médecin, technicien/ingénieur de fabrication de lasers, technicien/ingénieur de maintenance de lasers, ...).

1.2.7. LE RETOUR D'EXPERIENCE, LES ACCIDENTS

1.2.7.1. Accidents

Les premiers accidents laser au CEA remontent aux années 1970. Le nombre d'accidents recensés sur le territoire français sur cette période est d'environ 120. La population touchée est principalement le personnel de laboratoires de recherche publics ou privés.

1.2.7.1.1. Données des centres de recherche publics et privés

L'exposition au faisceau est la cause majeure des accidents laser. A elle seule, elle représente 70 % des accidents. L'œil est atteint dans 67 % des cas. La majorité des dommages concerne la rétine, et, dans près d'un cas sur deux, une diminution de l'acuité visuelle est constatée.

Le faisceau laser peut atteindre également d'autres parties du corps humain, comme les bras ou les mains. Ces cas représentent environ 10 % des accidents. La gravité de ces lésions est souvent moins importante que dans le cas d'une atteinte oculaire si un tissu nerveux ou un organe vital n'est pas atteint.

1.2.7.1.2. Données du CEA

Source : base de données informatisée des accidents du travail du CEA (GINA – Gestion Informatisée Nationale des accidents) jusqu'en juin 2012.

Les chiffres du CEA montrent une répartition similaire des causes et des conséquences des accidents liés aux activités utilisant un laser. On peut noter que l'exposition au faisceau laser est la cause majeure de 74% des accidents laser déclarés à la sécurité sociale, et de 56 % de l'ensemble des accidents laser déclarés et non déclarés.

Entre 2000 et 2011, 34 événements ont été enregistrés. Il s'agit d'accidents de travail sans arrêt et d'accident bénins. Aucun accident avec arrêt n'a été enregistré.

Il est important de remarquer que les autres sources de danger à l'origine d'accidents ne sont pas négligeables. Pour les accidents hors faisceau, on peut mentionner les accidents d'origine électrique qui sont majoritaires, puis ceux liés à la manipulation des différents capots de protection, au rangement des équipements, etc... (cf. paragraphe sur les risques hors faisceaux).

Ces éléments sont à prendre en considération, même s'il faut garder à l'esprit que les accidents les plus fréquents et les plus graves ont pour origine le faisceau laser. La gravité des accidents électriques n'est pas à négliger.

Dans le cas des accidents qui se sont traduits par une diminution de l'acuité visuelle, il y a principalement deux catégories de population à risques :

- Les débutants, ayant une expérience des lasers inférieure à 2 ans. Les raisons principales seraient le travail isolé sans tuteur, et l'absence de formation spécifique sur les risques liés au rayonnement laser.
- Les laseristes qui possèdent une ancienneté égale ou supérieure à 5 ans. Les principales raisons seraient :
 - o L'oubli des consignes,
 - o La routine,
 - o La perte de perception des niveaux de danger.

1.2.8. L'ENVIRONNEMENT

« C'est en juin 1999 que l'Organisation mondiale de la santé a déclaré lors de la Conférence ministérielle Santé et environnement : « *L'environnement est la clé d'une meilleure santé* »,

incluant dans ce terme des paramètres liés à la qualité des milieux (pollution de l'atmosphère, de l'eau, des sols, déchets mais aussi nuisances sonores, insalubrité, etc.) et à l'ensemble des activités humaines (air ambiant, accidents domestiques, violences urbaines, etc.) », INPES.santepubliquefrance.fr.

De l'explosion de poudrière au XVII^e siècle (L'Explosion de la poudrière de Delft, appelée en néerlandais le Delftse donderslag : le « Coup de tonnerre de Delft »), à nos jours, plus de 150 accidents d'origine industrielle et de grande ampleur ont été recensés (17). La réglementation internationale a donc tendu vers un meilleur contrôle des opérations industrielles et vers la protection de l'environnement. En effet, de nombreux pays, comme la France, constatent que les activités peuvent impacter pareillement les salariés et l'environnement au sens large, c'est-à-dire en comptant également les populations voisines.

1.2.8.1. L'influence de l'environnement sur le laser

La qualité du faisceau laser (puissance, trajet, ...) dépend des surfaces qu'il rencontre, traverse ou sur lesquelles il rebondit. La moindre altération de ces surfaces peut générer des erreurs voire causer un accident. Les surfaces rencontrées peuvent être les optiques (miroirs, filtres, ...) mais aussi les liquides, les gaz, les cibles... Certains lasers de haute précision nécessitent même que le vide soit créé. La plupart du temps sur les lasers de forte puissance une atmosphère contrôlée est utilisée par le biais de salle blanche.

Lorsqu'un élément est altéré, l'opérateur ne peut plus garantir la sécurité de l'installation car des rayonnements parasites, des échauffements, des longueurs d'onde résiduelles... peuvent induire un risque non prévu lors de l'évaluation initiale. On entre alors en situation dégradée.

Un contrôle récurrent et fréquent est alors obligatoire.

Il faut reconnaître que c'est plutôt quelque chose de maîtrisé dans les installations car les résultats scientifiques dépendent de cela et c'est au cœur de la préoccupation des gestionnaires de projet.

1.2.8.2. L'influence du laser sur l'environnement (imprimante, réaction chimique...)

L'influence du laser sur l'environnement est positive et négative. La balance entre le pour et le contre étant difficile à établir. D'un côté, la technologie laser, intrinsèquement non polluante, a permis de substituer bon nombre de technologies polluantes (ex. : les cartouches jet d'encre, nettoyage de monuments, ...), et d'un autre côté, elle génère des polluants suivant son utilisation (ex. : Création d'ozone lors d'impressions laser, utilisation de produits chimiques dangereux, ...).

Indirectement, le laser étant employé maintenant dans la quasi-totalité des domaines de la recherche, la proximité de laser de classe 4 (pouvant provoquer des incendies) avec des ICPE ou des Installations Nucléaires de Base (INB), rend l'étude de risque plus compliquée.

D'un point de vue plus petit, le risque laser doit être identifié et confiné pour éviter l'exposition des populations avoisinantes (personnels de l'installation, visiteurs, ...) car certains lasers représentent un risque jusqu'à plusieurs dizaines de milliers de kilomètres.

2. MATERIEL ET METHODE

2.1. METHODOLOGIE DE L'EVALUATION DES RISQUES AU CEA

L'évaluation des risques professionnels s'inscrit totalement dans la démarche de maîtrise des risques de l'entreprise et dans la politique d'amélioration de la sécurité et de la santé au travail.

Elle s'articule en quatre étapes :

1. Déterminer le périmètre de l'évaluation des risques,
2. Identifier les sources de dangers,
3. Quantifier et hiérarchiser les risques,
4. Identifier et, le cas échéant, programmer des actions de prévention et de protection.

Cette évaluation répond non seulement aux obligations réglementaires mais aussi internes à l'entreprise car elle s'inscrit dans une démarche globale de prévention au CEA, incluant de nombreux logiciels et procédures associés.

Cette évaluation fait partie du Document Unique faisant partie intégrante du référentiel de sécurité de chaque installation et comporte à minima :

- La liste des unités de travail ;
- L'évaluation des risques professionnels pour chacune de ces unités de travail.

Découle de cette évaluation, un plan d'actions incluant des mesures de prévention d'ordre technique, humaine et organisationnelle en vue de diminuer le risque au maximum s'il ne peut être évitable, ainsi que la programmation et le suivi des formations, habilitations et autorisations nécessaires aux personnels dans les unités de travail.

Au CEA, le document unique est rédigé sous la responsabilité du chef d'installation (CI) délégué de la responsabilité de sécurité de l'employeur. Il est transmis à la CQSE qui assure le contrôle du contenu et la cohérence au niveau de l'ensemble du site.

2.1.1. LES UNITES DE TRAVAIL ET SOURCES DE DANGER

Les unités de travail doivent être cohérentes en fonction des postes de travail et des phases de travail. Ainsi définies, ces unités sont découpées soit par projet (exemple : Plateforme d'imagerie médicale, projet LHA : Laser à Haute Intensité, ...), soit par métier (exemple : technicien animalier, soudeur, assistant administratif, ...). L'ISI de l'installation doit alors visualiser l'ensemble des phases de travail que le projet ou le métier sont amenées à créer.

Lors de ces phases de travail, il faut ensuite identifier les sources de danger. Une liste exhaustive des sources de dangers, issue de la grille n°1 de la Méthode Organisée Systémique d'Analyse des Risques (MOSAR) (18), est proposée en appui aux installations.

2.1.2. LA COTATION DES RISQUES

A chaque source de danger identifiée, une évaluation des risques ainsi que leur hiérarchisation doivent être effectués.

Deux cas de figures :

- Il existe une méthodologie spécifique à chaque risque (Ex : EvRR – Evaluation du risque radioactif ; EvRC : Evaluation du risque chimique, ...)
- Il n'existe pas de méthodologie spécifique. Des Groupes de Travail (GT) sont en charge de mettre au point ces méthodologies. Ils ont pour rôle d'unifier les pratiques au sein du CEA, de permettre un retour d'expérience d'ampleur nationale et surtout sont composés d'experts du domaine qui doivent permettre aux personnels des CEA une meilleure compréhension de la gestion des risques, une veille réglementaire et des conseils pointus.

L'Évaluation du Risque Laser (EvRL) se situe dans le dernier cas de figure car une méthodologie avait été proposée par le GT Laser en 2011, mais la DSSN avait par la suite invalidé celle-ci.

Il convient donc de suivre la méthode suivante :

- L'évaluation du risque se fait en fonction de :
 - o La fréquence d'exposition,
 - o La gravité potentielle du dommage,
 - o La qualité et l'efficacité des mesures de prévention et de protection collectives mise en place pour le risque résiduel.
- Le résultat de l'évaluation doit apparaître dans le document unique sous la forme d'une identification de type :
 - o R0 : Risque résiduel non prioritaire,
 - o R1 : Risque résiduel faible,
 - o R2 : Risque résiduel moyen,
 - o R3 : Risque résiduel important.

Des plans d'améliorations souhaitables, obligatoires respectivement pour les risques de niveau R1 et R2 seront à produire tandis que pour le risque coté R3, il sera suivi immédiatement d'actions obligatoires avant poursuite des manipulations jusqu'à a minima un risque de niveau R2.

2.2. MATERIEL

Un premier essai d'évaluation du risque avait été réalisé sur les centres CEA en avril 2010 puis en février 2011. Cela s'est très vite révélé inefficace et surtout incorrecte car loin d'être une évaluation du risque laser, il s'agissait surtout d'un outil de diagnostic réglementaire. Cet outil permet toutefois de tenir compte du code du travail, de la norme 60825-1 en terme de conception de l'équipement et des différentes recommandations du GT Laser.

Un accident en 2013 avait conduit à un premier inventaire et à mon arrivée en poste en juin 2017, le premier constat était l'absence de mise à jour depuis 2013. Les technologies ayant beaucoup évolué, comme par exemple les impressions 3D, il était normal voire même obligatoire de procéder à un état des lieux du nombre de Laser et de recenser en même temps leur classe.

Voici un tableau comparatif de l'état du parc de laser dangereux en 2013 et en 2017 :

	2013	2017	
Classe du Laser	Quantité	Quantité	Augmentation
2M	2	3	50%
3R	10	53	430%
3B	22	80	263%
4	50	156	212%

Tableau 1 : Comparaison du parc laser entre 2013 et 2017 au CEA Paris-Saclay

Il apparaît que le parc de laser de classe dangereuse a généralement doublé voire quadruplé. Or, depuis 2013, seules dix commissions locales de sécurité ont été réalisées sur le centre de Saclay incluant des manipulations avec des lasers. On a donc peu de prise en compte des installations du risque Laser car il n'est pas pour les porteurs de projet de nécessité à l'établissement d'un dossier de sécurité dès l'emploi d'un Laser de classe supérieure à 2.

Une méthodologie globale devait être créée harmonieusement sur tout le centre et devait être accessible à l'ensemble des Chefs d'Installation (CI) ainsi qu'aux préventeurs (ISI et AS). La

création d'un outil d'aide semblait alors pertinente compte-tenu des spécificités mathématiques que représente le calcul du danger laser ainsi que de son exposition.

2.2.1. DESIGN DE L'OUTIL

Afin de s'assurer d'une évaluation du risque laser efficace et générale, compte-tenu des domaines différents et des différents acteurs, et compte-tenu de la complexité des calculs et leur occurrence, un outil d'aide à l'évaluation du risque performant devrait permettre non seulement une meilleure prise en compte du risque au sein des installations et auprès des personnels, mais aussi faire bénéficier l'entreprise d'une cartographie fine du risque. Celui-ci doit être accessible à toutes les personnes compétentes en prévention des risques (ultimes interlocuteurs de la CQSE).

2.2.1.1. *Le besoin : l'inquiétude face à l'incertitude*

Avant de travailler sur des lasers, il est obligatoire de suivre une formation de sécurité laser (Cf.1.3.1.4.) qui permet d'établir les connaissances nécessaires et suffisantes pour les bases de calculs physiques liés à la sécurité.

Or, une personne qui manipule peu ces calculs « laser » et dont le recyclage de la formation est seulement tous les trois ans, peut émettre des doutes quant à la véracité des calculs. Cette personne porte donc une responsabilité mal assumée qui peut se traduire par des troubles du comportement : stress, anxiété, doute...

Il existe plusieurs types de comportement, autant de possibles que d'individu, induisant des risques de sécurité pour les biens et les personnes comme par exemple une personne qui cacherait ses difficultés par peur de montrer son incompetence.

De plus, les agents de prévention des risques ne sont pas assujettis à la formation obligatoire et ne sont donc pas à même de lever les incertitudes bien au contraire. Il est donc nécessaire d'alléger les étapes de calcul de manière automatique et pédagogique.

2.2.1.2. *Projet*

Le cahier des charges est assez simple. L'outil doit être :

- Simple d'utilisation,
- Clair quant à la démarche,
- Adapté aux besoins des installations, de la direction du centre et à la réglementation,
- Complet,
- Pédagogique,
- Vérifiable
- Mobilisable sur l'ensemble des installations.

Ainsi, sur la base de l'outil de diagnostic de 2010, l'utilisation du logiciel EXCEL pour permettre aux utilisateurs une facilité de compréhension et d'utilisation semblait appropriée. Continuer sur le même outil de réalisation (disponible sur tous les postes du CEA) reste d'actualité.

Il a donc fallu repenser l'outil pour avoir les données issues des textes de loi et des normes en y incluant les tableaux de comparaison, les calculs de photonique (repris principalement dans la norme 60825-1) et les calculs de DNDO (anciennement DNRO : Distance Nominale de Risque Oculaire).

Par étape, il a fallu intégrer les tableaux de comparaison des LEA, définir les classes de danger, intégrer les tableaux de EMP et de VLE et y inclure des systèmes complexes de calculs permettant de concerner le plus grand nombre de laser inclus dans l'environnement du CEA et même de l'extérieur. Un système de transposition de l'EvRL vers le logiciel MIPS (Module d'Information Patrimoine et Sécurité) a été intégré. Une démarche d'accompagnement ainsi qu'un guide d'utilisation ont été créés pour faciliter cette démarche.

Joule (J) : Energie (Q)	Watt * s	J.m ² * (π r ²)	W.m ⁻² * s * (π r ²)
Watt (W) : Puissance (P)	J / s	W.m ⁻² * (π r ²)	[J.m ⁻² * (π r ²)] / s
Joule par mètre carré (J.m²) : exposition Energétique (H)	W.m ² * s	J / (π r ²)	(W * s) / (π r ²)
Watt par mètre carré (W.m²) : Eclairage Energétique (E)	J.m ² / s	W / (π r ²)	[J/(π r ²)] / s

Tableau 3 : Calcul de conversion

Les LEA issues des quatre tableaux peuvent ainsi être comparées avec la puissance, l'énergie, l'éclairage énergétique ou l'exposition énergétique de notre faisceau.

2.2.1.3.2. La valeur limite d'exposition

Défini dans le décret 2010-750, la VLE est le seuil à partir duquel des lésions irréversibles sont susceptibles de se produire. Un tableau est alors à ajouter dans l'outil selon les mêmes paramètres d'entrée :

Facteur d'exposition		
Rapport à la Valeur Limite d'exposition	2598,45 x VLE (œil)	0,05 x VLE (œil)
	51,97 x VLE (peau)	0 x VLE (peau)

Tableau 4 : Rapport de l'exposition versus la valeur limite d'exposition

Ce paramètre doit être parlant, on voit sur le tableau 4 un jeu de couleur, le rouge devant mettre en alerte le préventeur.

2.2.1.4. Distance de danger

L'exposition peut être affectée par la conformation du faisceau et s'affaiblir dans le trajet optique. Cette conformation du faisceau est donc à déterminer. Il existe plusieurs types de conformation de faisceau suivant s'il est ou non focalisé, s'il sort d'une fibre monomode ou multimode ou si le faisceau est réfléchi sur un matériau.

De ces différentes options d'autres calculs sont à ajouter à l'outil en intégrant de nouveaux paramètres physiques (Tableau 5).

Tableau récapitulatif des données pour la DNDO	Faisceau non focalisé	En sortie de fibre optique multimode
φ : Angle de divergence (rad)	1,00E-03	
ON : Ouverture numérique (nombre)		1,20E-01

Tableau 5 : Tableau d'entrée des paramètres de sortie du faisceau

De ces données de sortie, on détermine alors la distance maximale de danger (Tableau 6), c'est-à-dire, la distance depuis la source où l'exposition est au-dessus de la valeur limite d'exposition pour les yeux et la peau.

Distance Nominal de Danger Oculaire (DNDO en m)		Valeur	Valeur
Décret	DNDO	3,54E+02	1,13E-02
	Distance de danger de brûlure pour la Peau	2,22E+01	4,00E-05

Tableau 6 : Distance de danger pour les yeux et pour la peau

2.2.1.5. Finalisation

Quelques actions complémentaires avant de déployer l'outil dans les installations « test » ont dues être réalisées :

- Ajout des correspondances avec la base de données du document unique de l'évaluation des risques professionnels du CEA : MIPS/EvRP ; c'est-à-dire les codes de danger MIPS/EvRP en rapport avec la classe de danger du faisceau apparent (Tableau 7).

- Sur le même principe, les correspondances avec le logiciel de gestion de la fiche professionnelle nominative (déterminant la surveillance médicale) appelé TOUCAN (Traitement par Ordinateur de la Codification des Activités Nominatives) (Tableau 7).
- Les besoins en formation en fonction de la classe de danger pour répondre au dernier point des neuf principes généraux de prévention (Tableau 7).

Formation		
PISL (Personne Informée en Sécurité Laser)	Interdiction d'accès	Autorisé
FPN		
Code FPN de danger	304308	304302
Pondération durée d'exposition (par individu)		
MIPS		
Code MIPS de danger	E34	E31 ou E311 si optique grossissement
	Fréquence : A Gravité: G	Fréquence : A Gravité: 0

Tableau 7 : Suppléments formation et logiciels professionnels

- Le calcul des indices de protections des lunettes de sécurité Laser (Tableau 8)

Lunette de sécurité laser		
Lunettes de Protection	D 532 nm LB4	Pas nécessaire
Lunettes de réglage (valeur dans le visible à substituer aux lunettes de protection)	Interdiction	Pas nécessaire

Tableau 8 : Lunettes de protection minimale

- Ajout de la durée d'exposition du salarié au danger Laser suivant le tableau 9 :

Tableau 5.2		Fréquence des manipulations moyenne (en 1/2 journée)			
		≤ 4/an	de 5/an à 3/mois	1 à 5/semaine	6 à 10 / semaine
Durée de manipulation moyenne et courante sur une 1/2 journée de travail de 4h	D < 1h	E0	E0	E1	E1
	1h < D < 3h	E0	E1	E1	E2
	D > 3h	E1	E1	E2	E3

Tableau 9 : Pondération de l'exposition au risque, CEA GT Laser 2011

2.2.1.6. Le diagnostic réglementaire

L'outil de diagnostic de conformité réglementaire existant concernant l'utilisation de laser pour la phase de réglage ainsi que pour sa phase d'utilisation a été ajouté en le mettant à jour avec la réglementation en vigueur. En effet, lorsque l'on travaille en présence d'un laser, quelle que soit sa classe, il y a des règles à suivre. Elles peuvent être rendues obligatoires par décret (n°2010-750 du 2 juillet 2010), recommandées par les normes européennes ou françaises et/ou conseillées par le GT « sécurité laser » du CEA qui a valeur ou non d'obligation suivant les centres CEA.

Cet outil est un questionnaire dont l'utilisateur doit répondre par OUI ou par NON (Tableau 10). Si l'on marque OUI, cela veut dire que la conformité est respectée. Si c'est NON, il va falloir mettre en place une solution afin de respecter les textes ou justifier leur non-application.

A partir de ce questionnaire, un plan d'action va automatiquement sélectionner les items à corriger. Il restera à renseigner en face de chaque action à réaliser : le responsable de l'action, la date à laquelle il est prévu que l'action soit réalisée et enfin la date réelle de la correction.

Le but étant bien entendu que toutes les non-conformités soient levées, qu'un maximum d'écarts soit évité et que les remarques soient prises en compte, corrigées ou justifiées.

Installation laser-banc expérimental	
Déterminer les VLE oculaires et les VLE pour la peau dans les différentes configurations de travail	NON
Une installation laser par pièce ou zone délimitée par des écrans de protection	NON
Faisceau non dirigé vers la porte ou les fenêtres sans protecteur fixe	NON
Hauteur du faisceau différente de celle où se trouve l'œil d'une personne assise ou debout	NON
Laser, instruments et composants d'optiques stables fixés de façon à empêcher toute déviation accidentelle du faisceau	NON
Absorbeurs de fin de parcours	NON
Absorbeurs incombustibles. Un refroidissement des absorbeurs peut être nécessaire	NON
Trajet du faisceau enclos au maximum, protection collective : panneaux, tubage	NON
Élimination des surfaces réfléchissantes	NON
Tableau de commande, appareils de mesure de visualisation et de contrôle, placés à ce que l'opérateur ne soit pas exposé au faisceau	NON
Aération et aspiration si risque toxique, anoxie	NON
Traitement antireflet des lentilles	NON
Atténuateur de faisceau	NON

Tableau 10 : Extrait du questionnaire de conformité réglementaire

L'ordre des priorités est rouge (non-conformité), orange (écart), vert (remarque) (Tableau 11).

Code couleur
Obligatoire : décret n°2010-750 du 2 juillet 2010
Recommandé par les normes
Conseillé par le GT "sécurité laser" dans la mesure du possible
Valable pour des longueurs d'onde invisible ($\lambda < 400\text{nm}$ et $\lambda > 700\text{nm}$)
Résulte de l'analyse de risque

Tableau 11 : Code couleur du questionnaire de conformité réglementaire

2.2.2. SIMULATION / β -TEST

2.2.2.1. Choix des installations

Afin de faire adhérer un maximum de personne à cet outil, on ne peut se résoudre à le faire sans participation des principaux utilisateurs.

Afin de s'assurer d'un test homogène de mon outil, il fallait trouver des installations représentatives de l'ensemble du parc du CEA. Celles retenues représentent l'ensemble des domaines scientifiques du centre PARIS-SACLAY : Physique, Environnement, Biologie, Nucléaire, ...

2.2.2.2. Profil des utilisateurs

L'outil doit être adapté à tous les utilisateurs, qu'ils aient des connaissances techniques ou non. Nos bêta-testeurs ont donc été ciblés selon leur profil :

- **Chef d'installation** : Le chef d'installation est chargé de mettre en œuvre les actions nécessaires à la maîtrise des risques inhérents à son installation dans tous les domaines de la sécurité.

- **Ingénieur de sécurité d'installation** : L'ingénieur de sécurité est chargé de la sécurité de l'installation dans laquelle il est affecté. Sa mission principale est de rendre compte en permanence de l'état de sécurité de l'installation à son chef d'installation. Il ne fait pas de manipulation, 100% de son temps est alloué à la sécurité mais peut être amené, dans le cadre réglementaire, à mettre en place des actions afin que les manipulations soient conformes.

- **Animateur sécurité (AS)** : L'AS a le même rôle que l'ingénieur de sécurité. Ce qui les différencie est l'implication dans la sécurité qui est de 30% pour un animateur sécurité.

- **Physicien / Lasériste** : Au CEA, le physicien travaille dans le domaine de la recherche et est très souvent amené à travailler avec des lasers pour réaliser ses expériences.

- **Chef de projet** : Le chef de projet est un manager en charge des contraintes humaines et budgétaires. Les contraintes économiques sont subies car l'argent que l'on donne à la sécurité est celui qu'on enlève à l'expérimentation.

Avec un accueil toujours cordial, l'organisation des réunions de présentation de l'outil en vue de le tester, d'une durée maximale d'une heure afin de ne pas trop empiéter sur leur temps de travail, a été facile. A côté de l'outil, un diaporama a été réalisé afin de le présenter aux personnes qui seraient susceptibles de l'utiliser et ainsi de leur montrer quelles sont ses capacités. Un guide d'utilisation leur a été remis (contenant le glossaire des termes techniques).

Les bêta-testeurs initiaux ont, de leur propre volonté, invité d'autres personnes de leur installation.

2.2.2.3. Accueil de l'outil

Au sein du CEA Paris-Saclay, la CQSE a une image de contrôle et d'application de la réglementation, ce qui n'est pas forcément bien perçu et laisse à penser un mauvais accueil. Lors de la présentation de l'outil, leurs réactions, leurs premières impressions, l'utilité de l'outil sur le court et sur le long terme ont été très positifs ainsi que l'enthousiasme ou non de l'avoir à disposition un jour.

Les avis furent partagés. Certains trouvèrent que l'outil en lui-même faisait peur de par son ergonomie et le nombre de données à remplir et par le nombre de feuilles qui s'y présentaient. La plupart furent agréablement surpris car soit ils étaient déjà habitués à faire ce genre de calculs manuellement et donc perdaient beaucoup de temps, soit ça pouvait leur être très utile pour leur travail.

Les présentations se sont toutes très bien déroulées. Tous étaient attentifs et très curieux quant au fonctionnement de l'outil, en quoi il leur serait utile et bénéfique pour leur travail. Tous ont compris les enjeux de cet outil et se sont bien prêtés au jeu de bêta-testeurs en me faisant des retours constructifs avec des remarques aussi bien positives que négatives ainsi que des suggestions d'améliorations.

2.2.3. ANALYSES DES DONNEES

En plus des remarques, les bêta-testeurs ont également envoyé leur simulation de l'outil avec toutes les données à la CQSE. Ci-dessous un tableau recensant ces données :

Nom	Classe du laser de la source	Classe du faisceau (exploitation)	Classe du faisceau (réglage)	Nombre de remarques	Nombre d'écarts	Nombre de non-conformités	DNDO (m)	Danger de brûlure peau (m)
Individu 1	4	1	4	0 - 0	0 - 1	0 - 1	$2,2.10^{-2}$	$2,2.10^{-3}$
Individu 2	3B	1	3B	/	/	/	/	/
Individu 3	4	4	4	2 - 2	8 - 7	5 - 5	/	/
Individu 4	3B	1	3B	0 - 2	0 0	0 - 3	$1,9.10^2$	Pas de danger
Individu 5	4	1	3B	0 - 0	3 - 10	0 - 7	$4,1.10^7$	$5,1.10^{-2}$
Individu 6	4	4	4	1 - 0	3 - 2	3 - 3	$1,9.10^2$	Pas de danger

Tableau 12 : Données recueillies des fichiers retournés par les bêta-testeurs.
En bleu : En phase d'exploitation ; *en rouge* : En phase de réglage

On remarque une différence entre la classe de danger de la source laser et la classe de danger du faisceau accessible pour la plupart des lasers. Là où en phase d'exploitation il y a une classe 1, cela signifie que le faisceau n'est pas accessible. Une barrière technologique a donc été mise en place pour permettre de réduire le risque au maximum permettant ainsi l'accès aux manipulations avec le laser en fonctionnement à toute personne sensibilisée.

En phase de réglage, nous avons la plupart du temps un faisceau accessible, celui-ci correspond dans la majorité des cas à la classe de danger de la source, excepté pour le laser de l'individu 5 dont la puissance du faisceau est atténuée. Pour des raisons budgétaires, dans les cas étudiés, la phase de réglage se fait avec le même laser que pour la phase d'exploitation.

Toutefois, il existe quelques laboratoires équipés de lasers d'alignement ou de miroirs motorisés couplés à des caméras pour faire les réglages à distance (ce qui sera le cas sur le laser Apollon, laser CEA/SNRS/Polytechnique, le plus puissant du monde 10 PétaWatt, par exemple).

Concernant le diagnostic réglementaire, deux cas sont observables suivant la tenue d'une CLS (Réunion préparatoire concernant la sécurité de travaux ou de nouveau projet) :

- Les laboratoires comme pour celui de l'individu 1 où l'on remarque qu'il ne reste plus qu'un écart et qu'une non-conformité à solder (Avec CLS).
- Les laboratoires où l'on remarque qu'il reste un certain nombre de remarques, d'écarts ainsi que de non-conformités (Sans CLS).

On remarque aussi et surtout que lorsque la sécurité est incluse dès l'étape de projet, il y a beaucoup moins de non-conformité...

Prenons l'exemple du laser de l'individu 6, on remarque qu'en phase d'exploitation il y a : 1 remarque, 3 écarts et 3 non-conformités.

Actions à réaliser	Commentaire(s)
Écran, rideau devant les fenêtres donnant sur l'extérieur du laboratoire	-Utilisation du LASER verticale, vers l'atmosphère -Utilisation du LASER dans un LIDAR, DNDO nul (cf. page Main)
Capots de protection pour avoir un rayonnement en dessous de la VLE	Diamètre du faisceau en sortie du LIDAR 65mm et DNDO nul
Obturbateur de faisceau en sécurité positive	
Pas d'exposition supérieure aux classes 1 ou 2 lors des réglages	
Contrôle à distance	
Une installation laser par pièce ou zone délimitée par des écrans de protection	Fonctionnement d'un seul LASER en phase utilisation
Trajet du faisceau enclos au maximum, protection collective : panneaux, tubage	Trajet du faisceau en sortie du toit du 2eme étage encloué par une cheminé à hauteur humaine

Tableau 13 : Plan d'action avec justifications de non prise en compte de la réglementation

D'après le plan d'action ci-dessus, on remarque que 4 actions sont justifiées. Cela signifie donc qu'après accord de l'employeur ou de son représentant, il n'y a pas besoin de les appliquer.

Au final il ne reste plus que : 0 remarque, 1 écart et 2 non-conformités.

Concernant les DNDO, un port de lunettes est obligatoire dans tous les cas. Une brûlure de peau peut subvenir dans certains cas, il faut rester prudent et porter des EPI contre les brûlures.

2.2.4. CORRECTION

Suite à ces tests, un certains nombres d'erreurs de calcul tendant à la particularité de chaque laser ont pu être corrigées.

2.3. DEPLOIEMENT DE L'OUTIL

La première étape nécessaire à la mise en place de la démarche d'évaluation du risque laser était la priorisation. L'inventaire du parc laser du centre avait été réalisé en 2017, recensant l'intégralité des lasers présents dans les installations. Nous remarquons alors que sur le site de Saclay, presque

toutes les installations possèdent un laser, et 30 d'entre elles possèdent un laser de classe 3R ou plus.

La priorité a donc été donnée aux EvRL pour les lasers de classes 3R, 3B et 4, qui peuvent représenter le risque le plus important.

2.3.1. CERCLE SECURITE

La démarche mise en place pour l'évaluation du risque laser est une démarche participative incluant les ISI. En effet, celle-ci nécessite un recueil d'informations spécifiques au(x) laser(s) et à ses conditions d'utilisation. Une présentation de la démarche d'évaluation a donc été réalisée pour informer les ISI sur son déroulement et son objectif au cours d'un cercle sécurité, réunion regroupant l'ensemble des préventeurs du centre.

Le déroulement des différentes étapes suivies a également été présenté pour permettre à chaque installation de se préparer à nos demandes.

En effet, l'EvRL ne peut se faire sans l'obtention de renseignements préalables fournis par l'installation. Une fiche de renseignements, comportant des informations sur les caractéristiques physiques du laser ainsi qu'un autocontrôle des équipements de sécurité, sera donc transmise et devra être complétée pour chaque banc expérimental.

À la suite de cette présentation, une prise de contact avec les installations a été faite via un entretien téléphonique. Chaque installation doit faire l'objet d'une visite de conformité réglementaire quant aux équipements de sécurité et au positionnement des postes de travail par rapport au faisceau accessible présent ainsi une prise de rendez-vous est donc indispensable.

2.3.2. RENSEIGNEMENTS PREPARATOIRES

À la suite de l'explication de la démarche lors du cercle-sécurité, un entretien particulier avec chaque ISI est organisé afin de se pencher plus spécifiquement sur leur installation. Il s'agit d'une étape importante basée sur la communication où les attentes de l'ingénieur sécurité et de la CQSE doivent être exprimées. Le rôle et la nécessité de la fiche de renseignements préparatoires sur le laser sont donc abordés, suivie de sa transmission.

Si l'évaluation du risque laser se fait en collaboration avec les préventeurs, les opérateurs y participent rarement. Leurs contraintes expérimentales, leurs habitudes de travail et leurs connaissances ne facilitent pas leur adhésion à la démarche ainsi que leur sensibilité à la sécurité malgré leur formation obligatoire. Ce sont donc les ISI qui remplissent la fiche de renseignements, apportant les informations nécessaires à l'évaluation du risque laser. Cette étape représente pour eux une tâche complexe dans la mesure où ils ne sont pas forcément tous laséristes et n'ont pas toutes les connaissances nécessaires. Elle fait donc l'objet de nombreuses interrogations quant aux réponses attendues et leur importance. Un accompagnement est donc requis, au même titre que la clarté du fichier.

Celui-ci ayant été réalisé de manière simple, il ne nécessite qu'une retranscription des informations présentes sur le laser, mais certaines distinctions sont à faire quant aux paramètres demandés.

Il est en effet constitué d'une partie sur les caractéristiques physiques du laser et une autre sur la présence ou non des éléments de sécurité. Il permet de réaliser un premier diagnostic laser, qui sera affiné lors de la visite pour donner lieu à une évaluation complète. Une première vision du laboratoire est donc donnée, témoignant de l'importance d'un bon renseignement. Certains termes spécifiques doivent alors être définis afin d'obtenir les informations les plus précises possibles.

Une fiche de renseignement incomplète, ou dont les informations données ne sont pas claires, ne peut être exploitée. Cette situation donne lieu à une grande perte de temps : rappel de l'installation pour demander une explication ou recherche des informations lors de la visite sur le terrain.

2.3.3. ÉVALUATION

L'évaluation du risque laser se fait en deux étapes. La première consiste à remplir l'outil suivant les informations présentées dans la fiche de renseignements. La seconde est une visite des laboratoires afin de vérifier la présence des éléments de sécurité et le positionnement de l'opérateur lors des phases de travail (phase d'exploitation et phase de réglage).

2.3.3.1. Fichiers de renseignements

Un travail préparatoire en amont de la visite est nécessaire pour déterminer les critères de sécurité à observer et les informations complémentaires à obtenir. Les fichiers de renseignements exploitables sont étudiés et les données sont inscrites dans la première page de l'outil d'aide.

Cette première étape permet de déterminer certains paramètres permettant par la suite la bonne réalisation de l'évaluation du risque laser.

On obtient alors, pour un fichier complet :

- La classe de danger du laser suivant ses paramètres d'utilisation (caractéristiques physiques),
- L'exposition par rapport à la VLE,
- La DNDO,
- Les lunettes de protection laser requises (selon les normes NF EN 207 et NF EN 208).

Malheureusement, ce fichier est rarement renseigné dans sa totalité. En effet, le type de faisceau (focalisé ou non, par fibre optique, en réflexion diffuse) est un élément manquant à la plupart des fiches remplies par les installations et qui m'a été difficile à obtenir. Ce paramètre reste pour le moins essentiel à l'évaluation du risque laser car c'est celui qui permet le calcul de l'exposition par rapport à la VLE, pour les yeux et la peau, ainsi que la DNDO.

La construction de la fiche ne met pas assez la case correspondante en valeur, les ingénieurs sécurité ne savent donc pas qu'une réponse est attendue à cet endroit, malgré les explications qui leur sont données. Une amélioration du fichier de renseignement pourrait donc être apportée afin que celui-ci gagne en clarté et que l'évaluation du risque obtenue à l'aide de l'outil soit complète et donc plus pertinente.

Les éléments de conformité réglementaire liés à la sécurité du laboratoire et des personnes sont également notés afin d'avoir une première vision du laboratoire, ceux-ci seront ensuite vérifiés, validés ou non et/ou incriminés lors de la visite.

2.3.3.2. Visite de l'installation

Un premier diagnostic "papier" ayant été établi, une visite de terrain est indispensable à la réalisation de l'évaluation. Celle-ci se fait aux côtés de l'ingénieur sécurité de l'installation concernée et, si possible, des opérateurs.

Elle est réalisée par une personne compétente en sécurité laser, et a pour but de faire un état des lieux précis et détaillé de l'ensemble des éléments participants à la sécurité et au respect de la réglementation.

Lors de cette visite, une vérification de l'autocontrôle des équipements de protections, indiqués dans la fiche de renseignement, est réalisée. La position des opérateurs lors des différentes phases de travail est également déterminée en vue de l'évaluation de l'exposition au faisceau laser.

À la suite de cette visite, différents résultats sont possibles :

- L'abaissement de la classe de certains équipements lasers si les éléments de protection sont suffisants,
- Une confirmation de l'évaluation primaire,
- L'arrêt des lasers si ceux-ci représentent un risque majeur d'accident.

L'observation faite sur le terrain permet de compléter l'évaluation du risque laser, donnant alors lieu à la rédaction d'un compte-rendu.

2.3.3.3. Reporting aux installations

Dans un cadre de formalisation, le compte est rédigé par l'évaluateur et diffusé par la chef de la CQSE. Comme l'outil n'est encore ni disponible, ni transmissible, les informations sont données par écrit, par des jeux de copie d'écran. Il est à noter que l'outil est fortement plébiscité par l'ensemble des personnes interviewées lors de ces évaluations. Il comporte :

- La classe de la source laser utilisée,
- La classe de danger du laser, suivant l'accessibilité ou non du faisceau et la présence des équipements de protection,
- Une présentation de l'outil et des résultats obtenus (VLE et DNDO),
- Le plan d'action à réaliser,
- Les tableaux contenant les informations à renseigner dans MIPS.

Les cotations fréquence x gravité permettent de donner une vision rapide du niveau de risque suivant la fréquence d'exposition, et donc la probabilité d'occurrence du dommage, et la gravité du dommage. Pour la fréquence, la cotation est déterminée suivant la durée d'utilisation du laser par jour. La cotation de la gravité se base quant à elle sur la classe de danger du laser utilisé.

Les critères d'attributions des cotations sont les suivants (Tableaux 14, 15 et 16) :

Code	Fréquence	Gravité
A	Extrêmement rare	Mineur
B	Rare	Peu important
C	Possible	Important
D	Fréquent	Très important

Tableau 14 : Critères d'attribution des cotations fréquence x gravité, CEA DSSN/PMR 2008

Indice Fréquence	Pourcentage temps de travail	Temps h/j/an
A	$F < 10\%$	environ 1h par jour une année de travail
B	$10\% \leq F < 30\%$	environ entre 1h et 2h30 par jour
C	$30\% \leq F < 70\%$	environ entre 2h30 et 5h30 par jour
D	$F \geq 70\%$	supérieur à 5h30 par jour

Tableau 15 : Cotation de la fréquence, CEA GT Laser 2015

Classe des lasers accessibles	inférieur VLE				Entre VLE et 5 fois la VLE	DANGER	
	1	1M	2	2M	3R	3B	4
gravité PMR	Sans objet	Sans objet	Sans objet	Sans objet	A- gêne	A – blessure mineure sur la peau	C – blessure grave peau
						D – blessure grave œil (blessure avec IPP)	D – blessure grave œil (blessure avec IPP)

Tableau 16 : Résumé de la cotation de la gravité du risque « faisceau laser », CEA GT Laser 2015

Tous ces éléments vont permettre aux ingénieurs de sécurité non seulement de remplir le document unique via l'application MIPS, mais aussi et surtout de comprendre l'ensemble des éléments qui vont compléter l'évaluation des risques professionnels de leur installation respective.

3. RESULTAT

En dehors des obligations en matière d'évaluation de risques professionnels, l'employeur et les préventeurs, voire même d'autres postes, peuvent avoir besoin de visualiser rapidement les zones de danger et les impacts potentiels. La cartographie semble être la méthode la plus adéquate pour atteindre cet objectif. Elle permet en effet de définir les zones à surveiller et à sécuriser en un rapide coup d'œil, ainsi que d'assurer une intervention rapide en toute connaissance du terrain dans le cas d'un incident sur une installation.

Une première cartographie avait été réalisée en 2017, basée sur l'inventaire du parc laser présent (Figure 7). Les évaluations de risque ayant été réalisées, les cotations fréquences x gravité ont été revues, modifiant alors les niveaux de risque sur les installations du centre. Une nouvelle cartographie est alors indispensable.

3.1. RECUEIL ET CONTROLE DES INFORMATIONS MIPS

Les évaluations, réalisées conjointement par la CQSE et les installations, constituent une base pour ces dernières qui se doivent alors d'effectuer une mise à jour du document unique par l'intermédiaire de MIPS.

Il a pu être vérifié grâce à un accès total aux informations du centre, que le logiciel avait bien été mis à jour selon les éléments transmis par les comptes-rendus. Une seconde extraction MIPS a donc pu être réalisée, sur laquelle se base la cartographie.

3.2. ÉVOLUTION DE MIPS

Le tableau 17 résume l'évolution de l'évaluation. Il se divise en deux parties, avant et après la démarche, permettant alors une comparaison des cotations à ces deux périodes. La partie « Avant évaluation CQSE » reprend les informations issues de la première extraction MIPS, c'est-à-dire avant la réalisation des évaluations de risques en bonne et due forme. La partie « Après évaluation CQSE » résume quant à elle les conclusions faites à partir du remplissage de l'outil, ce sont celles qui sont finalement inscrites dans le logiciel par les ISI.

Le tableau 17 présente un résumé par installation des lasers et équipements. Ne sont présentés dans ce tableau que les équipements laser les plus discriminants de chaque installation.

On constate dans un premier temps une différenciation des phases de travail comme le veut le code du travail, ce qui n'était pas le cas pour la première extraction. Les phases d'utilisation et de réglage sont désormais distinguées et associées à un niveau de risque qui leur est propre.

Des différences de cotations sont également à noter entre la première extraction et la seconde. Nous retrouvons en effet principalement un indice de gravité D, attribués aux lasers de classe 4. Selon les éléments de sécurité présents et donc l'accessibilité ou non au faisceau, il arrive qu'aucune gravité ne soit relevée, signifiant alors que le banc expérimental ne présente pas de danger pour les opérateurs dans les conditions normales d'utilisation (capot fermé).

Installation	Phase	MIPS			
		Avant évaluation CQSE		Après évaluation CQSE	
		Fréquence	Gravité	Fréquence	Gravité
9	Utilisation	A	C	A	D
	Réglage			A	D
16	Utilisation	A	C	-	-
	Réglage			-	-
39	Utilisation	A	C	A	-
	Réglage			A	D
50	Utilisation	Non répertorié		A	-
	Réglage			A	D
60	Utilisation	A	C	-	-
	Réglage			-	-
84	Utilisation	A	C	-	-
	Réglage			A	D
145	Utilisation	B	C	A	D
	Réglage			A	-
210	Utilisation	A	D	A	-
	Réglage			A	D
217	Utilisation	B	C	A	-
	Réglage			A	D
218	Utilisation	B	B	A	D
	Réglage			A	D

Tableau 17 : Comparaison des cotations avant et après la démarche d'évaluation du risque laser

3.3. LA CARTOGRAPHIE

Le premier inventaire laser de 2017 avait donné lieu à une cartographie du risque sur le centre (Figure 7). Celle-ci reprend donc les cotations de fréquence et de gravité renseignées à cette période, c'est-à-dire avant la démarche d'évaluation globale du risque laser sur le centre.

La cotation du risque se faisant en croisant la fréquence et la gravité, la Direction de la Sécurité et de la Sûreté Nucléaire (DSSN) propose une matrice (Tableau 18) :

		Fréquence d'exposition			
		A	B	C	D
Gravité	D	R2	R2	R3	R3
	C	R1	R2	R2	R3
	B	R0	R1	R2	R2
	A	R0	R0	R1	R2

Tableau 18 : Matrice de cotation du risque Fréquence/Gravité, CEA DSSN/PMR 2008 (MR/DPSN/SSC/SEC/RET/4.2/0172)

Le code couleur utilisé au sein de cette cartographie se base sur les différents niveaux de risque de la matrice.

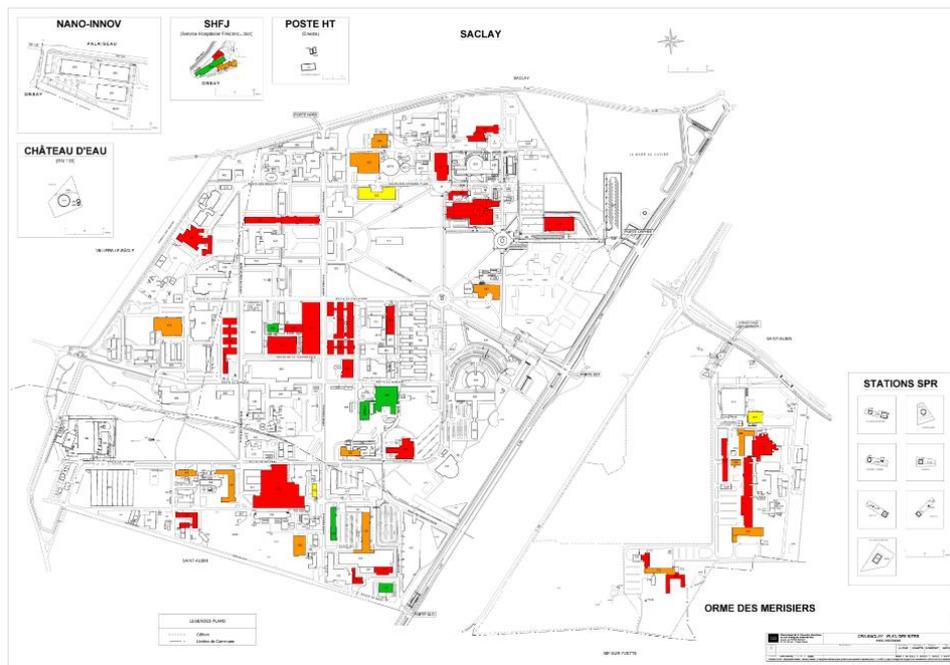


Figure 7 : Cartographie réalisée suite à l'inventaire laser de 2017

Il est à noter que la différenciation des phases n'ayant pas été faite, ces résultats n'étaient pas forcément représentatifs de la réalité du risque. Nous remarquons sur cette première cartographie (Figure 7) que la majorité des installations sont de couleur rouge, symbolisant le niveau de danger le plus important. Nous retrouvons également certaines installations marquées en jaune et orange, mais très peu en vert, correspondant à la gravité la plus faible.

En juin 2019, suite aux actions menées, une nouvelle cartographie est réalisée, reprenant les résultats obtenus lors des visites sur le terrain.

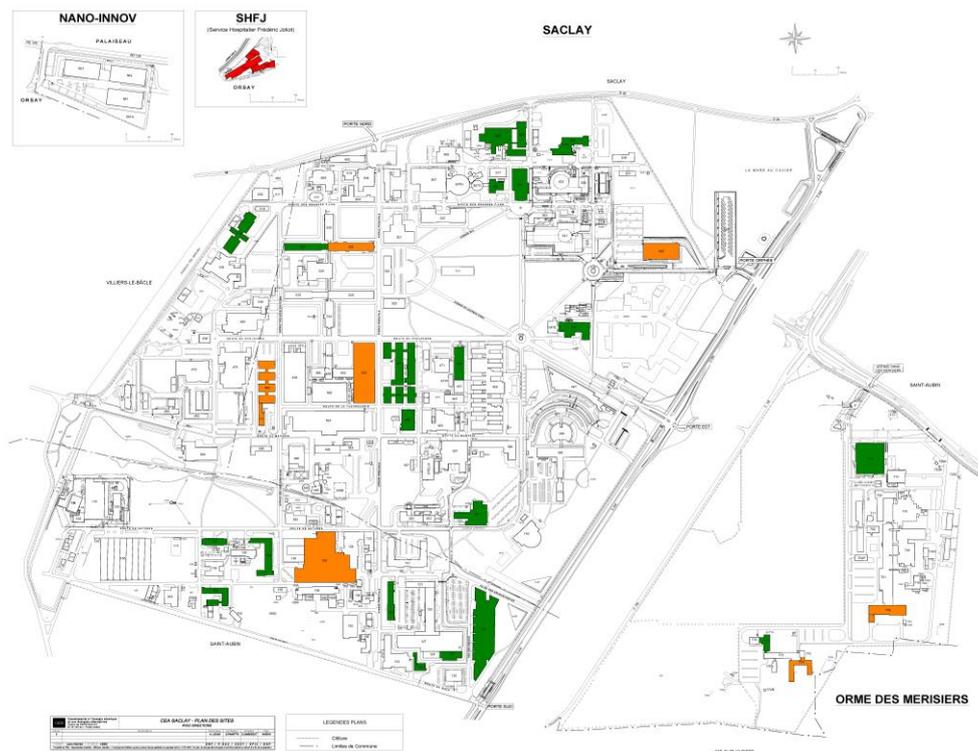


Figure 8 : Cartographie du risque en phase d'exploitation en août 2019

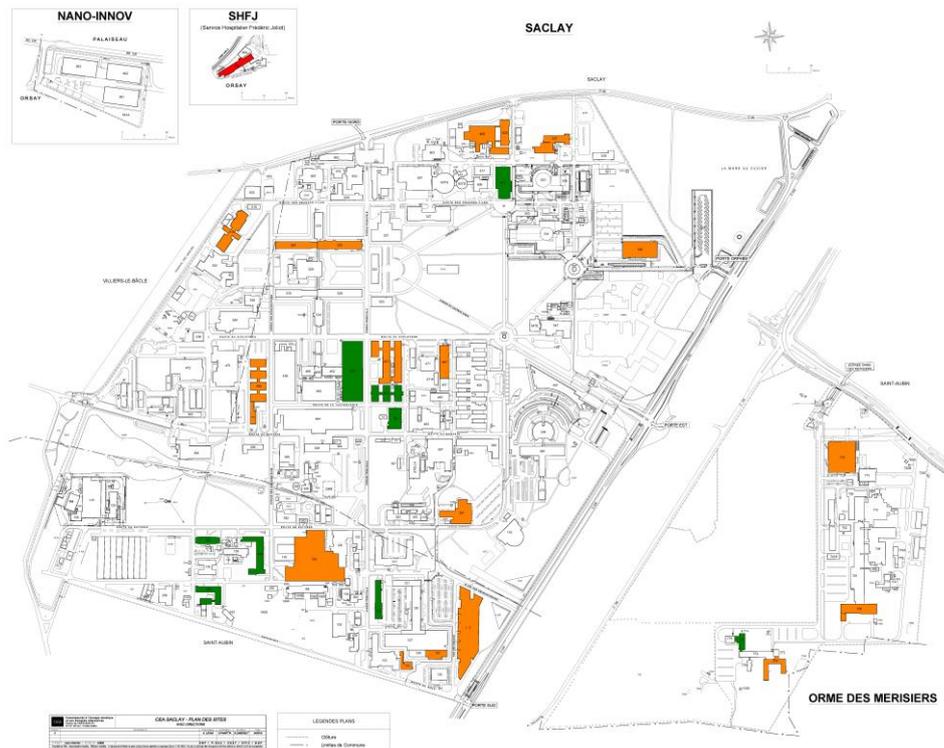


Figure 9 : Cartographie du risque en phase de réglage en août 2019

Contrairement à celle établie en 2017, deux cartographies sont ici présentées, marquant alors une différence de niveau de risque entre la phase d'exploitation et la phase de réglage du laser.

Pour la phase d'exploitation (Figure 8), nous remarquons que la quasi-totalité des installations sont en vert, témoignant de l'efficacité des équipements de protection. En effet, un laser de classe 4 peut tout à fait être assimilé à un équipement de classe 1 si le faisceau est inaccessible grâce aux protections collectives en place (boîte laser, coupure du faisceau à l'ouverture du capot...). Dans le cas d'un capotage amovible sans coupure de faisceau, nous allons considérer qu'il n'y a pas de danger dans les conditions normales d'utilisation, l'opérateur connaissant ses obligations en terme de sécurité (formation obligatoire en sécurité laser).

La phase de réglage (Figure 9) est généralement la phase représentant un niveau de risque plus important dans la mesure où l'opérateur est directement exposé au faisceau. Ainsi, la majorité des installations sont classées en gravité très importante. Nous retrouvons cependant certaines d'entre-elles avec une gravité mineure.

Trois cas sont alors possibles :

- La phase de réglage est assurée par l'entreprise commercialisant le laser ce qui n'engendre aucune exposition des opérateurs salariés du CEA ;
- Les éléments présents sur le banc expérimental sont motorisés et peuvent donc être réglés via une caméra ;
- Un laser d'alignement de classe 2 peut être utilisé.

Afin de vérifier l'efficacité des actions menées, une comparaison des deux cartographies est établie.

Ainsi, nous pouvons remarquer qu'entre 2017 et 2019, suivant les phases de travail, trois cas de figures sont à noter :

- Le niveau de risque de l'installation ne bouge pas,
- Le niveau de risque augmente,
- Le niveau de risque diminue.

Nous pouvons alors émettre différentes hypothèses sur les résultats obtenus.

Une croissance de la gravité pour une installation peut être due à une sous-estimation du niveau de risque lors de l'inventaire de 2017, expliquée par l'absence d'une réelle évaluation de risque. L'évolution de l'expérience et donc du matériel utilisé peut également influencer le niveau de risque.

Dans le cas d'une diminution de la gravité, la présence et l'efficacité des équipements de protection sont les principaux acteurs.

Dans les deux cas, l'outil élaboré par la CQSE semble prouver sa pertinence et son efficacité, tant pour valoriser les installations avec un faible niveau de risque que pour conseiller celles dont les équipements de protection sont à revoir.

3.4. VERS UN RISQUE NON PRIORITAIRE

3.4.1. PLAN D' ACTIONS DETAILLE

Chaque évaluation, de chaque équipement laser, a donné lieu à l'édition d'un plan d'amélioration sous la forme d'un plan d'actions (Tableau 19) :

Actions à réaliser	Commentaire(s)	Acteur	date prévue	date de réalisation
Emission lumineuse d'un signal fiable à chaque accès extérieur de la zone laser en régime de fonctionnement. Si la verrine laser ne fonctionne pas, le faisceau ne doit pas être sortant. Ce signal doit être à la hauteur des yeux pour être vu et non pas au-dessus des portes pour des raisons d'esthétique. Possibilité d'avoir un signal similaire à l'intérieur de la pièce.	La verrine est gérée manuellement et suit une procédure connue des opérateurs			
Accès contrôlé à la zone lors de l'émission laser. Affichage de la liste des personnes autorisées à travailler sur laser)	Afficher la liste des personnes autorisées à manipuler le laser à l'entrée du laboratoire	CI/ISI	Juillet 2019	
Espace dégagé autour de l'installation laser	Prévoir un rangement spécifique aux produits chimiques utilisés pour dégager l'espace autour du plan de travail	CI/ISI	Juillet 2019	
Absorbeurs de fin de parcours	Prévoir une protection derrière le bocal d'eau	CI/ISI	Juillet 2019	
Trajet du faisceau enclos au maximum, protection collective : panneaux, tubage	Remplacement du rideau de protection laser autour de la zone de manipulation.	CI/ISI	Juillet 2019	
Aération et aspiration si risque toxique, anoxie	Cette pièce n'est pas équipée pour la manipulation de produits chimiques. Stockage et manipulation dans un autre laboratoire	CI/ISI	Juillet 2019	
Atténuateur de faisceau	Vérifier s'il est possible d'atténuer le faisceau	CI/ISI	Juillet 2019	
Affichage de la liste des personnes habilitées à travailler sur le laser	Mise à jour de l'affichage des personnes autorisées à manipuler le laser à l'entrée du laboratoire	CI/ISI	Juillet 2019	
Manipuler les colorants et solvants suivant les règles	Rangement du laboratoire	CI/ISI	Juillet 2019	

Tableau 19 : Exemple d'un plan d'action issu de l'outil après évaluation

Chaque action peut nécessiter un certain investissement et doit être programmée par l'installation. La CQSE définit des dates d'action mais l'installation en fonction de ces moyens et de la priorisation des actions peut les discuter. Ces actions seront à planifier dans le programme de prévention annuel de l'installation.

3.4.1.1. Traitement des R3

Lors des visites d'évaluation, certains équipements présentaient un risque trop important pour que la direction autorise la manipulation.

Ainsi des mesures compensatoires temporaires ont dues être prises par l'installation si elle souhaitait continuer de travailler avec ces équipements.

Un plan d'actions est aussi réalisé à très courte échéance afin de redescendre le risque à un niveau plus faible.

La CQSE émet un avis positif à la reprise des manipulations qu'après une contre-visite. Seul le directeur de centre autorise la reprise après consultation de l'ISE.

3.4.1.2. *Traitement des R2*

Lorsque le faisceau accessible du laser est de classe 4, le plus petit niveau atteignable est le R2. Ne pouvant agir sur la fréquence d'exposition (car à la fréquence la plus faible le risque est R2), le plan d'actions privilégie les protections collectives afin soit d'éliminer l'accessibilité du faisceau dans toutes les phases de travail, soit de diminuer la classe du faisceau laser par atténuation de la puissance ou de l'énergie, ou par substitution du laser pour un autre.

Cela s'inscrit dans le programme de prévention car cela nécessite un aménagement du poste de travail, une réorganisation des modes opératoires et un coût éventuel. Ce dernier s'arbitre en fonction du rapport coût/bénéfice présenté par les préventeurs.

3.4.1.3. *Traitement des R1*

Ce niveau n'est pas présent sur le centre. En effet, d'après les tableaux 16 et 18, il est très peu probable de les retrouver.

3.4.2. SUIVI DES PLANS D'ACTION

3.4.2.1. *Visite de sécurité*

Suite à l'arrêt de certaines activités de niveau R3, plusieurs visites de sécurité sont programmées notamment pour le contrôle des actions compensatoires temporaires et pour l'autorisation définitive de reprise d'activité.

Par exemple :

Lors de l'évaluation du risque lié à un équipement laser, il a été émis l'interdiction de poursuivre sans mesures compensatoires directes car cela représentait un risque certain pour l'opérateur et pour les autres personnels de l'installation. Il s'agit d'un équipement de soudure laser.

Il se présentait de la façon suivante :

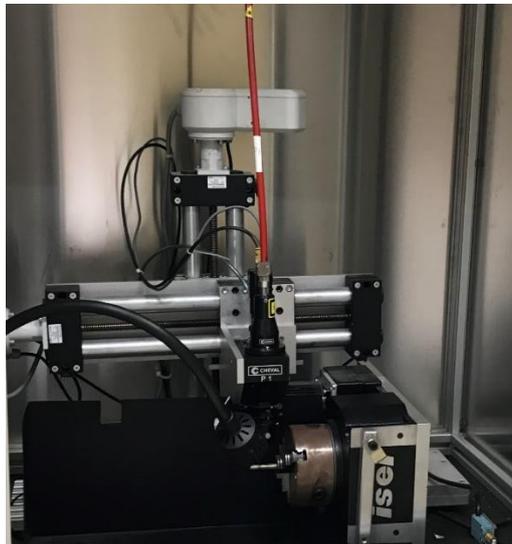


Figure 10 : Photo d'un équipement laser sans protection

La mesure compensatoire proposée était un blocage des faisceaux accessibles à l'aide de matériels « laser » résistants (tissus, scotch, ...) :



Figure 11 : Mesures compensatoires sur le même équipement

A la suite de la visite de sécurité visant à la reprise exceptionnelle de l'activité, il a été conclu que les dispositifs mis en place n'étaient pas suffisants pour garantir une sécurité de l'opérateur. Des EPI lui ont été fournis ce qui a permis une reprise de l'activité avec une autorisation d'un mois maximum, délai nécessaire à sécuriser l'installation de manière pérenne.

Un mois plus tard, l'installation ne représentait plus de danger comme le montre la photo de la figure 12.



Figure 12 : Protection définitive du banc de soudure

3.4.2.2. Contrôle de deuxième niveau

Dès 2020, sur la base des textes réglementant la sécurité laser, des contrôles de deuxième niveau vont être programmés.

Formés à l'audit interne (formation CEGOS), les chargés d'affaires de la CQSE sont en charge d'établir le(s) plan(s) d'audit. Ces contrôles seront organisés en fonction des niveaux de risque résiduel issus de la cartographie en vue de s'assurer de la maîtrise de la sécurité. Ils mentionneront les non-conformités (majeures ou mineures) qui donneront lieu à un nouveau plan d'action.

DISCUSSION

En 2013, un accident grave lié au faisceau laser, ayant entraîné la perte de la vue d'un œil de l'opérateur, a eu lieu au CEA de Saclay. C'est le dernier accident laser recensé. Cet accident aurait pu être évité si l'évaluation du risque laser avait été effectuée et si des contrôles réguliers avaient permis de maintenir le banc expérimental en bon état de sécurité.

La réglementation impose à l'employeur d'assurer la sécurité physique et mentale de ses employés et doit prévenir les risques résultants des activités de son entreprise. Ainsi, entouré de préventeurs et d'experts (techniques, juridiques, comptable, ...), il organise sa sécurité en fonction des zones à risque. Mais encore faut-il que ces zones soient définies d'autant plus quand le site de l'entreprise est grand et multi-technique.

Un autre souci se pose, le préventeur est souvent dans une posture managériale compliquée. Il est souvent identifié comme freinant ou bloquant les manipulations et cela implique souvent une méfiance de ce dernier. Il doit donc convaincre, argumenter, repérer les situations à risques, agir à bon escient, calculer le rapport coût/bénéfice, rechercher des solutions, veiller sur la réglementation, ... tant de rôles et d'actions à mener qu'il lui est parfois difficile d'être performant en tout point.

La base de l'évaluation des risques est d'identifier le risque, or dans les domaines de la photonique et notamment celui des lasers, l'identification du risque et de son exposition sont la résultante de calculs assez complexes prenant en compte des paramètres physiques très pointus de la photonique.

La démarche de prévention telle que définie par le Pôle Maîtrise des Risques en 2008 est connue de tous les préventeurs du centre, ainsi, il fallait les aider dans les étapes premières de la méthodologie.

L'outil créé a donc permis à ces préventeurs de réaliser l'évaluation du risque au plus près du poste de travail, de bien identifier les différentes phases de vie et d'en retirer le niveau de risque résiduel. La cartographie du risque Laser du CEA PARIS-SACLAY réalisée grâce à l'outil et à sa possibilité de faire le lien avec plusieurs logiciels professionnels utilisés dans l'entreprise, va servir maintenant de base de travail aux préventeurs et à la CQSE qui pourront mener les actions de prévention en priorisant les zones à risque résiduel plus important.

Les plans d'actions associés à la démarche vont permettre à chaque préventeur de prendre conscience des moyens techniques, organisationnels et humains à la disposition de la technicité photonique et leur mise en œuvre pourra alors être justifiée auprès des décideurs grâce à cette cotation du risque résiduel.

Malgré un retard de deux mois sur les premières prédictions de la remise de la cartographie au directeur du centre de PARIS-SACLAY, dû à la complexité des évaluations, à leur nombre, au nombre d'interlocuteurs, à la fédération de chacun à la démarche proposée par la CQSE et à la mise en œuvre des résultats, nous avons en août 2019 la première cartographie du risque laser sur l'ensemble du centre PARIS-SACLAY, fine et détaillée qui sera mise à jour facilement autant que de besoin.

CONCLUSION

L'élaboration de l'outil a pris près de six mois depuis la première idée jusqu'à son déploiement. Cela aurait pu prendre beaucoup plus de temps si cette création ne s'était pas faite avec l'appui et la participation d'un maximum d'acteurs : les préventeurs du centre (CI ; ISI et AS) et les opérateurs laser de quelque domaine que ce soit ; car cet outil leur est adressé et ce sont eux qui vont l'utiliser.

Pour l'instant, l'outil est bloqué par la Direction de la Sécurité et de la Sûreté Nucléaire car il doit être validé en plusieurs étapes. L'outil n'a donc pas pu leur être fourni malgré leurs retours très positifs et leur envie d'en disposer.

A la prochaine réunion du groupe de travail, *l'outil d'aide à la décision pour l'évaluation du risque laser* sera de nouveau présenté, le GT Laser pourra alors émettre un avis sur cet outil dans l'espoir de le voir déployé sur l'ensemble des centres CEA. Une commercialisation pourrait être envisagée.

BIBLIOGRAPHIE

1. Einstein A. On the Quantum Theory of Radiation. In: Knight PL, Allen L, éditeurs. Concepts of Quantum Optics [Internet]. Pergamon; 1917 [cité 7 nov 2018]. p. 93-104. Disponible sur: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780080291604500166>
2. Applications of Lasers [Internet]. [cité 7 nov 2018]. Disponible sur: <http://www.physics-and-radio-electronics.com/physics/laser/applicationsoflasers.html>
3. ICNIRP. ICNIRP GUIDELINES - On limits of exposure to laser radiation of wavelenghts between 180 nm and 1000µm. Health Physics; 2013.
4. Décret n° 2010-750 du 2 juillet 2010 relatif à la protection des travailleurs contre les risques dus aux rayonnements optiques artificiels | Legifrance [Internet]. [cité 7 nov 2018]. Disponible sur: <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/decret/2010/7/2/MTST1007005D/jo>
5. Décret n° 2012-1303 du 26 novembre 2012 fixant la liste des usages spécifiques autorisés pour les appareils à laser sortant d'une classe supérieure à 2 | Legifrance [Internet]. [cité 7 nov 2018]. Disponible sur: <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/decret/2012/11/26/PROI1207567D/jo/texte>
6. LOI n° 2011-267 du 14 mars 2011 d'orientation et de programmation pour la performance de la sécurité intérieure. 2011-267 mars 14, 2011.
7. AFNOR. Protection individuelle de l'oeil - Lunettes de protection pour les travaux de réglage sur les lasers et sur les systèmes laser (lunettes de réglage laser). NF EN 208 févr 1, 2010.
8. AFNOR. Sécurité des appareils à laser - Partie 1 : classification des matériels et exigences (Tirage 2 (2017-07-01)). NF EN 60825-1 oct 10, 2014.
9. AFNOR. Protection individuelle de l'œil - Filtres et protecteurs de l'œil contre les rayonnements laser (lunettes de protection laser). NF EN 207 mai 5, 2017.
10. CEA. Domaines de recherche [Internet]. CEA/CEA. 2015 [cité 7 nov 2018]. Disponible sur: <http://www.cea.fr/Pages/domaines-de-recherche.aspx>
11. The World's Most Innovative Research Institutions. Reuters [Internet]. 8 mars 2016 [cité 8 juill 2019]; Disponible sur: <https://www.reuters.com/article/us-innovation-rankings-idUSKCN0WA2A5>
12. Décret n° 2014-1674 du 29 décembre 2014 portant création de la communauté d'universités et établissements « Université Paris-Saclay » et approbation de ses statuts et portant dissolution de l'établissement public à caractère scientifique, culturel et professionnel « UniverSud Paris » | Legifrance [Internet]. [cité 8 juill 2019]. Disponible sur: <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/decret/2014/12/29/MENS1425099D/jo>
13. Futura. Le principe du laser [Internet]. Futura. [cité 8 juill 2019]. Disponible sur: <https://www.futura-sciences.com/sciences/dossiers/physique-lasers-puissance-impulsions-ultracourtes-764/page/2/>
14. Système d'unités visuelles [Internet]. Techniques de l'Ingénieur. [cité 8 juill 2019]. Disponible sur: <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/construction-et-travaux-publics->

th3/lumiere-et-circulation-interieure-42228210/eclairage-les-fondamentaux-c3339/systeme-d-unites-visuelles-c3339niv10004.html

15. OSHA Technical Manual (OTM) | Section III: Chapter 6 - Laser Hazards | Occupational Safety and Health Administration [Internet]. [cité 8 juill 2019]. Disponible sur: https://www.osha.gov/dts/osta/otm/otm_iii/otm_iii_6.html#3
16. Rayons du soleil et risque de cancer | Cancer et environnement [Internet]. [cité 8 juill 2019]. Disponible sur: <https://www.cancer-environnement.fr/268-Rayons-du-soleil.ce.aspx>
17. Chronologie de catastrophes industrielles. In: Wikipédia [Internet]. 2019 [cité 8 juill 2019]. Disponible sur: https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Chronologie_de_catastrophes_industrielles&oldid=159467487
18. PERILHON P. MOSAR Présentation de la méthode. Techniques de l'ingénieur Méthodes d'analyse des risques [Internet]. 2003;base documentaire : TIB155DUO.(ref. article : se4060). Disponible sur: <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/environnement-securite-th5/methodes-d-analyse-des-risques-42155210/mosar-se4060/>

Résumé :

L'utilisation des lasers dans les sciences devient multidisciplinaire et n'appartient plus au seul domaine de la physique. Le Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives de Paris-Saclay, centre de recherche multidisciplinaire, a vu au cours de ces 5 dernières années une croissance exponentielle du nombre de lasers dangereux. Devant ce constat, une cartographie de ce risque doit être effectuée, mais le manque de connaissance en sécurité optique des préventeurs opérationnels a conduit à une mauvaise prise en compte de ce risque. Un outil d'aide à la réalisation de l'évaluation du risque laser a donc été réalisé à l'aide du logiciel Excel. Après une phase de design, en collaboration avec ces préventeurs et une phase de tests, celui-ci a pu être déployé sur le centre. Le recueil des données a permis de réaliser la première cartographie qui a démontré que le risque existant était surévalué à cause de l'amalgame entre les sources laser et les équipements laser et qu'il existait deux phases de travail bien distinctes. A l'aide de l'outil, un plan d'action pour chaque installation a pu réduire le risque de manière considérable. La cartographie du risque et le suivi sont maintenant opérationnels sur le centre.

Mots Clés : Laser ; Cartographie ; Évaluation ; Risque

Abstract:

The use of lasers in science is becoming multidisciplinary and is no longer restricted to the field of physics. The Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives of Paris-Saclay, a multidisciplinary research centre, has pointed out an exponential growth in the number of dangerous lasers over the past 5 years. Faced with this observation, this risk must be mapped. However, the lack of knowledge in optical safety of operational prevention officers has led to a poor consideration of this risk. A tool to assist in carrying out the laser risk assessment was therefore developed using Excel software. After a design phase, in collaboration with these prevention specialists and a test phase, it was possible to deploy it on the centre. The data collection made possible the carrying out the first mapping, which showed that the existing risk was overestimated because of the confusion between laser sources and laser equipment and that there were two distinct work phases. Thanks to the tool, an action plan for each facility has held to a significant reduction of the risk. Risk mapping and monitoring are now operational.

Keywords: Laser; Mapping; Evaluation; Risk