

Démarche de prévention
Équipements | Lieux de travail

Évaluation des risques lors de la conception de machines

ED 6389

L'Institut national de recherche et de sécurité (INRS)

pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles est une association loi 1901, créée en 1947 sous l'égide de la Caisse nationale d'assurance maladie, administrée par un Conseil paritaire (employeurs et salariés).

De l'acquisition de connaissances jusqu'à leur diffusion, en passant par leur transformation en solutions pratiques, l'Institut met à profit ses ressources pluridisciplinaires pour diffuser une culture de prévention dans les entreprises et proposer des outils adaptés à la diversité des risques professionnels à tous ceux qui, en entreprise, sont chargés de la prévention : chef d'entreprise, services de santé au travail, instances représentatives du personnel, salariés... Toutes les publications de l'INRS sont disponibles en téléchargement sur le site de l'INRS : www.inrs.fr

Les caisses d'assurance retraite et de la santé au travail (Carsat), la caisse régionale d'assurance maladie d'Île-de-France (Cramif) et les caisses générales de sécurité sociale (CGSS) de l'Assurance maladie - Risques professionnels, disposent, pour participer à la diminution des risques professionnels dans leur région, d'un service Prévention composé notamment d'ingénieurs-conseils et de contrôleurs de sécurité. Spécifiquement formés aux disciplines de la prévention des risques professionnels et s'appuyant sur l'expérience quotidienne de l'entreprise, ces professionnels sont en mesure de conseiller et, sous certaines conditions, de soutenir les acteurs de l'entreprise (direction, médecin du travail, instances représentatives du personnel, etc.) dans la mise en œuvre des démarches et outils de prévention les mieux adaptés à chaque situation. Les caisses assurent aussi la diffusion des publications édités par l'INRS auprès des entreprises.

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'INRS, de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite. Il en est de même pour la traduction, l'adaptation ou la transformation, l'arrangement ou la reproduction, par un art ou un procédé quelconque (article L. 122-4 du code de la propriété intellectuelle). La violation des droits d'auteur constitue une contrefaçon punie d'un emprisonnement de trois ans et d'une amende de 300 000 euros (article L. 335-2 et suivants du code de la propriété intellectuelle).

© INRS, 2020.

Conception graphique : Julie&Gilles
Mise en pages : Valérie Latchague-Causse
Édition : Emmanuelle Chalaux (INRS)

ED 6389 |
octobre 2020

Démarche de prévention
Équipements | Lieux de travail

Évaluation des risques lors de la conception de machines

Brochure INRS élaborée par un groupe de travail INRS piloté par A. Lux et composé de : J. Baudoin, J.-P. Bello, C. Duval, S. Hardy, P. Lamy, J. Marsot, M. Mjallad.

Remerciements à J.-C. Blaise, C. Borgeot, B. Daille-Lefèvre, P. Laine, M. Sarrey (INRS).

Sommaire

Introduction	3
1 Évaluation des risques et conception en 6 questions	4
1.1. Analyse, estimation, évaluation, appréciation, réduction des risques : de quoi parle-t-on lorsqu'il s'agit de conception des machines ?	4
1.2. Phénomène dangereux, risque, dommage : quelle différence ?	6
1.3. Pourquoi faire une évaluation des risques ?	7
1.4. Qui doit faire l'évaluation des risques ? Et avec qui ?	8
1.5. Quand réaliser l'évaluation des risques ?	8
1.6. Comment réaliser l'évaluation des risques ?	9
2 Évaluation des risques et démarche de conception d'une machine	12
2.1. Étape de spécification – Revue de contrat	13
2.2. Étape de conception générale	13
2.3. Étape de conception détaillée	14
2.4. Étape de réalisation	14
3 L'évaluation des risques en pratique : exemple d'application	15
3.1. Étape de spécification – Revue de contrat	16
3.2. Étape de conception générale	18
3.3. Étape de conception détaillée	21
3.4. Étape de réalisation	23
↪ Annexe. Outils et méthodes pour l'estimation et l'évaluation des risques	25

Introduction

Cette brochure vise à expliquer comment intégrer la démarche d'évaluation des risques professionnels tout au long du processus de conception d'une nouvelle machine.

Elle s'adresse donc avant tout aux fabricants de machines, mais également aux préventeurs, qui sont des appuis indispensables pour prendre en compte les exigences de santé-sécurité dans la conception des futurs équipements de travail. Elle peut également être utile aux utilisateurs de moyens industriels, par exemple dans le cadre d'une modification de machine.

La réalisation d'une évaluation *a priori* des risques est une exigence réglementaire. Plus précisément, il est demandé aux concepteurs de machines de mettre en place un processus itératif d'évaluation et de réduction des risques. Ils peuvent pour cela s'appuyer sur la norme NF EN ISO 12100. Malgré tout, force est de constater que cette démarche est difficilement appliquée dans les bureaux d'études. L'évaluation des risques, lorsqu'elle est faite, n'est en effet souvent réalisée qu'à la fin d'un projet de conception. Cela conduit à la mise en place d'actions correctives tardives (sécurité rapportée), souvent moins efficaces que des mesures de prévention envisagées plus en amont (sécurité intégrée). Non seulement elles induisent des coûts et des délais supplémentaires, mais elles sont aussi généralement moins bien adaptées aux usages et moins pratiques d'utilisation.

C'est donc pour faciliter la bonne appropriation de la démarche d'évaluation des risques en conception que cette brochure propose un complément pratique à la norme. Elle en illustre l'application tout en rappelant les points d'attention.

Dans la première partie, la brochure répond aux questions qu'un concepteur de machines peut être amené à se poser : qu'entend-on par estimation, évaluation ou appréciation des risques ? Quelle est la différence entre un risque et un phénomène dangereux ? Pourquoi doit-on faire l'évaluation des risques, qui s'en charge, quand et comment ?

La seconde partie montre comment articuler les différentes étapes de l'évaluation des risques avec celles d'un processus de conception d'une machine.

Enfin, la troisième partie illustre cette démarche en s'appuyant sur un exemple concret de conception d'une machine.



1. Évaluation des risques et conception en 6 questions

1.1 Analyse, estimation, évaluation, appréciation, réduction des risques : de quoi parle-t-on lorsqu'il s'agit de conception des machines ?

Dans la pratique, les termes « analyse », « évaluation », « estimation » ou « appréciation » des risques sont souvent utilisés indifféremment, parfois à mauvais escient, alors que ce sont des notions bien distinctes explicitées dans la norme NF EN ISO 12100 et rappelées ci-après :

L'analyse des risques consiste à déterminer les limites de la machine en cours de conception, à identifier l'ensemble des phénomènes dangereux et, pour chacun d'eux, à faire une estimation des risques associés.

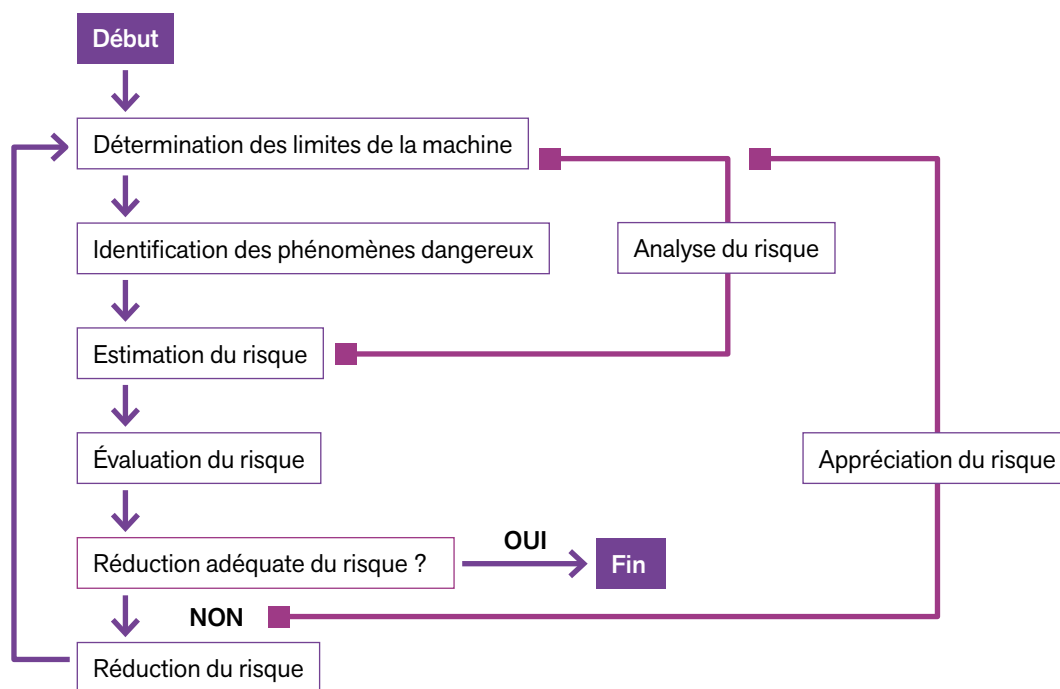
L'estimation des risques (qui fait donc partie de l'analyse des risques) consiste, pour chaque phénomène dangereux, à identifier l'exposition des salariés à ce phénomène et à quantifier le niveau de risque associé. Pour cela, on attribue au risque un indice qui dépend de la probabilité d'occurrence et de la gravité du dommage associé.

L'évaluation des risques consiste à porter un jugement sur chaque risque afin de définir si des mesures de prévention ou de protection sont nécessaires ou non, et si les objectifs de réduction du risque ont été atteints.

L'appréciation des risques désigne l'ensemble du processus d'analyse et d'évaluation (voir figure 1).

La réduction des risques a lieu à l'issue de la phase d'appréciation des risques. Il s'agit pour le concepteur de déterminer des solutions visant à éliminer ou réduire au maximum les risques identifiés. Par ordre de priorité à mettre en œuvre en conception, il s'agit de mesures de prévention intrinsèques, de protection (protecteurs fixes ou mobiles, dispositifs de protection...), de mesures de prévention complémentaires (arrêt d'urgence, consignations, etc.), ou encore d'informations pour l'utilisation (signalétique sur la machine, avertissements dans la notice d'instructions sur les risques résiduels¹). Sur la base de ces informations, le futur utilisateur doit poursuivre la démarche de réduction des risques avec par exemple des mesures organisationnelles, la formation de son personnel, sans oublier la fourniture des équipements de protection individuelle.

¹ Risques persistant après intégration de la sécurité à la conception de la machine et mise en place de mesures de prévention et de protection complémentaires.



■ Figure 1. Terminologie se rapportant aux notions de risque (d'après la norme NF EN ISO 12100)

Le caractère itératif du processus d'évaluation et de réduction des risques est essentiel : il convient de conduire une nouvelle évaluation des risques après toute nouvelle mesure de réduction envisagée. Ces itérations doivent être poursuivies jusqu'à ce que le niveau minimal de risque soit atteint au regard de l'état de la technique (*voir encadré ci-dessous*).

La démarche d'évaluation des risques à la conception d'une machine ne doit pas être confondue avec l'évaluation des risques professionnels (EvRP) qui consiste à identifier tous les risques auxquels sont exposés les salariés d'une entreprise.

■ État de la technique

La notion d'« état de la technique » est précisée dans le guide d'application de la directive Machines : elle inclut à la fois une dimension purement technique et une dimension économique. L'état de la technique évolue lorsque des moyens techniques plus efficaces deviennent disponibles ou lorsque leur coût relatif diminue. Un concepteur de machines doit tenir compte de l'état de la technique existant au moment de la conception.

Les normes harmonisées apportent une présomption de conformité aux exigences essentielles de santé et de sécurité fixées par la directive Machines et transposées dans le Code du travail (annexe I de l'article R. 4312-1). Ces normes sont régulièrement révisées et fournissent une bonne indication de l'état de la technique des mesures de prévention applicables à une machine.

1.2. Phénomène dangereux, risque, dommage : quelle différence ?

Dans le langage courant, le terme « risque » peut avoir différentes significations. Il est en effet utilisé pour désigner à la fois la source d'un danger et ses conséquences potentielles : risque mécanique et risque de coupure par exemple.

Dans le domaine des normes relatives à la sécurité des machines, ces deux notions sont pourtant bien distinctes. Dans le premier cas, on parlera de « **phénomène dangereux** » ou de « **danger** » (mécanique, électrique, acoustique, thermique, chimique, etc.). Dans le second cas, on parlera de « **dommage** » (coupure, brûlure, surdité, etc.). Pour que

le dommage apparaisse (voir figure 3), il faut tout d'abord que la personne soit exposée à un phénomène dangereux : elle se retrouve alors dans une « **situation dangereuse** ». Le processus d'apparition du dommage peut ensuite varier selon qu'il est accidentel ou chronique. Dans un processus accidentel (par exemple pour un danger mécanique), un événement dangereux doit se produire. Dans un processus chronique (par exemple pour un danger biologique), la simple exposition au phénomène dangereux (pendant une certaine durée et à une certaine fréquence) peut conduire au dommage. Enfin, dans les deux cas, le dommage survient s'il n'y a pas eu pour la personne la possibilité de l'éviter.

Le « **risque** » est quant à lui une notion abstraite qui permet de représenter les conséquences dommageables d'une situation dangereuse en combinant la gravité et la probabilité du dommage.

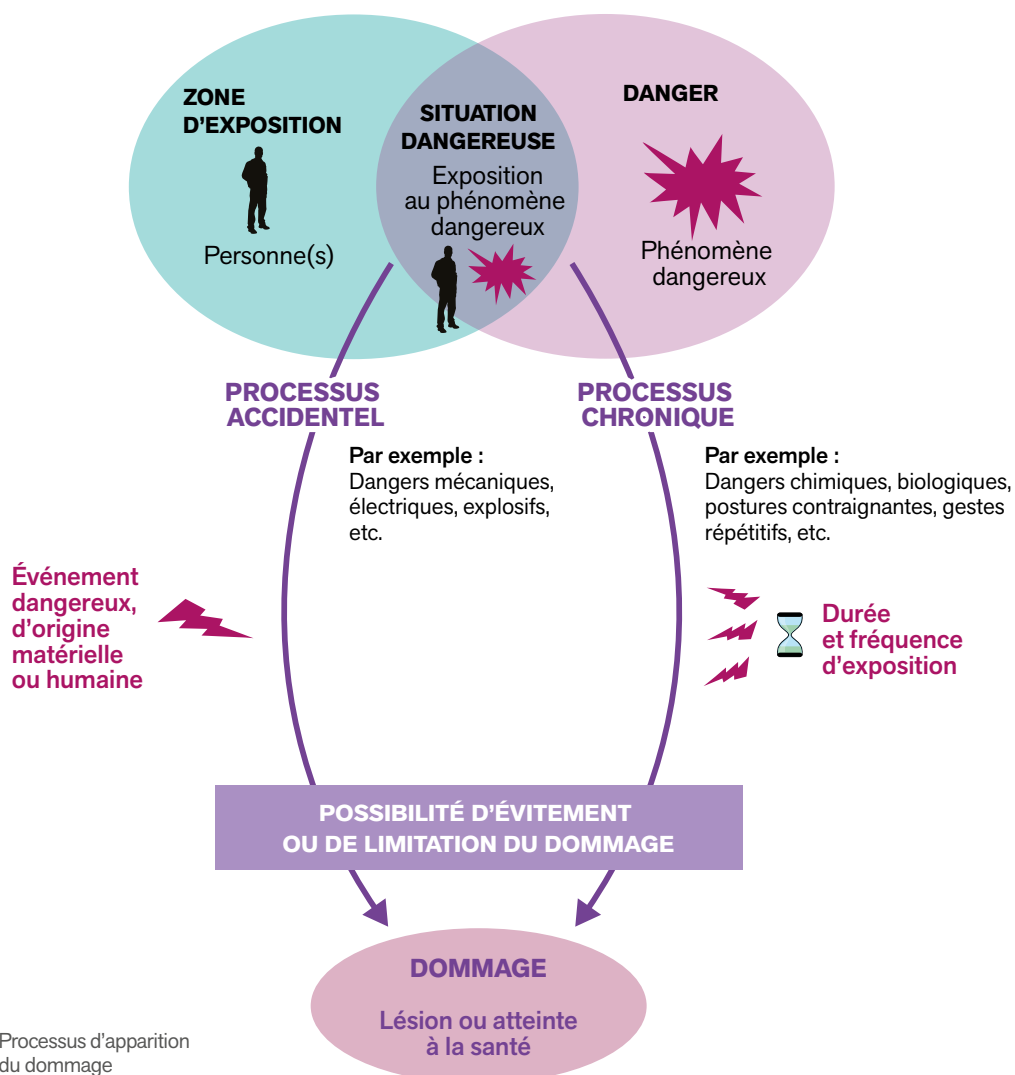


Figure 2. Processus d'apparition du dommage

Lorsque l'on parle d'évaluation des risques, il faut ainsi comprendre l'évaluation de la gravité potentielle d'un dommage et de sa probabilité d'occurrence du fait de l'exposition d'une personne à un phénomène dangereux.

Un exemple est présenté au *tableau 1* pour expliciter ces notions. Il montre qu'un même phénomène dangereux peut générer différents risques, avec des processus d'apparition différents (accidentel ou chronique dans cet exemple).

machine. C'est une obligation réglementaire qui engage la responsabilité du fabricant (annexe I à l'article R. 4312-1 du Code du travail).

L'évaluation des risques doit être menée en parallèle de la conception afin **d'influencer les choix techniques en faveur de solutions sûres pour les futurs utilisateurs**. Elle est notamment un préalable indispensable au choix des moyens de protection adaptés

1.3. Pourquoi faire une évaluation des risques ?

L'objectif de l'« évaluation des risques » demandée aux concepteurs d'une machine est avant tout d'éviter la survenue d'accidents ou de maladies professionnelles liés à l'utilisation de cette future

■ Annexe I à l'article R. 4312-1 du Code du travail

« Le fabricant d'une machine veille à ce qu'une évaluation des risques soit effectuée afin de déterminer les règles techniques qui s'appliquent à la machine. La machine est ensuite conçue et construite en prenant en compte les résultats de l'évaluation des risques. »

Tableau 1 : Définitions et exemple illustratif des principales notions utilisées pour l'évaluation des risques

Terminologie	Danger ou phénomène dangereux	Situation dangereuse	Processus d'apparition du dommage	Événement dangereux	Dommage	Risque
Définitions	Source potentielle de dommage	Exposition d'une personne à un ou plusieurs phénomène(s) dangereux	Processus pouvant être accidentel ou chronique	Événement susceptible de causer un dommage	Blessure ou atteinte à la santé	Combinaison de la gravité et de la probabilité d'occurrence du dommage
Exemple	Présence d'un produit chimique dangereux	Présence d'une personne à proximité du produit chimique dangereux	Processus accidentel	Contact avec le produit chimique suite à renversement accidentel	Irritation ou brûlure	Risque à évaluer suivant la gravité du dommage (qui dépend du type de produit, de la superficie et de la localisation du contact, etc.) et la probabilité d'occurrence du dommage (qui dépend de la fréquence/durée d'exposition de la personne au danger, de la possibilité d'évitement, etc.)
			Processus chronique	Exposition de longue durée aux émanations du produit chimique	Maladie des voies respiratoires	Risque à évaluer suivant la gravité du dommage (qui dépend du type et de la quantité de produit, de sa concentration, etc.) et la durée et fréquence d'exposition au produit

aux risques identifiés et à l'usage qui sera fait de la machine.

La démarche dans son ensemble doit être documentée dans le dossier technique de la machine. Ce dossier doit pouvoir être fourni rapidement par le fabricant ou son mandataire en cas de demande motivée de la part des autorités nationales compétentes.

La réalisation d'une évaluation des risques, formalisée et argumentée, est l'une des clés de la réussite de la conception d'une nouvelle machine. Elle permet en effet d'anticiper les risques liés à son utilisation future et ainsi :

- pour le concepteur, d'éviter des coûts ou des délais supplémentaires engendrés par une mise en conformité, de fidéliser ses clients et de gagner de nouveaux marchés ;
- pour l'entreprise utilisatrice, de préserver la santé et la sécurité de ses employés et de réduire les coûts directs et indirects supportés en cas d'accidents ou de maladies professionnelles.

L'évaluation des risques n'est pas uniquement une obligation réglementaire. Elle contribue à la réussite d'un projet de conception.

1.4. Qui doit faire l'évaluation des risques ? Et avec qui ?

L'évaluation des risques doit être initiée et soutenue par le responsable de la « mise sur le marché de la machine », autrement dit celui qui signera la déclaration CE de conformité, le fabricant de la machine dans la plupart des cas. C'est lui qui engage sa responsabilité.

Par ailleurs, cette démarche contient inévitablement une part de subjectivité : les résultats peuvent en effet varier en fonction de la ou des personne(s) qui la réalise(nt). Afin d'avoir des résultats les plus pertinents possibles, il est donc indispensable de **réaliser cette démarche de façon collective** en y associant plusieurs compétences, par exemple le chef de projet, un mécanicien, un automaticien, un préventeur, un ergonome, etc. Il est également fortement

recommandé d'impliquer des futurs utilisateurs ou des représentants de ceux-ci afin qu'ils apportent leur expérience de l'utilisation de machines similaires ou comparables : il peut s'agir d'opérateurs de production et de maintenance, du responsable sécurité, de représentants des salariés au comité social et économique (s'il existe), etc. Enfin, il peut également être utile de faire appel à des compétences extérieures, comme les experts des caisses régionales (Carsat, Cramif, CGSS) ou ceux des organismes de contrôle.

L'évaluation des risques n'est pas une science exacte. Elle nécessite un travail de groupe intégrant des compétences diverses dont certaines peuvent être externes. Elle gagne à impliquer au maximum les futurs utilisateurs pour bénéficier de leur expérience.

1.5. Quand réaliser l'évaluation des risques ?

L'évaluation des risques ne doit pas être réalisée uniquement en fin de projet, juste avant la fabrication ou même à la réception finale comme c'est souvent le cas : les mesures de prévention sont alors essentiellement correctives et très souvent plus coûteuses et moins performantes que si elles avaient été envisagées plus en amont. Il est notamment trop tard pour envisager des solutions de prévention intrinsèques (suppression du risque à la source) alors que ces dernières doivent être privilégiées pour pratiquer de la sécurité intégrée et non pas de la sécurité rapportée.

L'évaluation des risques doit donc être initiée le plus en amont possible, dès la réception du cahier des charges (revue de contrat). Elle doit ensuite **être a minima intégrée dans les revues de projet** qui jalonnent le processus de conception.

Pour assurer la pertinence des solutions qui seront retenues lors de ces revues de projet, il est nécessaire qu'il y ait un véritable engagement des décideurs (chef de projet, managers) d'y inclure les aspects santé et sécurité et de les traiter au même

niveau que les aspects qualité, coût, délais, performance.

Pour faciliter la démarche, il est ainsi conseillé de formaliser l'analyse à l'aide d'un tableau dès le début du projet et de le mettre à jour en fonction de l'avancement de la conception. Un exemple d'un tel tableau est présenté plus loin au chapitre 1.6.

L'évaluation des risques doit être initialisée le plus tôt possible dans le processus de conception d'une machine.

1.6. Comment réaliser l'évaluation des risques ?

La démarche d'évaluation des risques comprend quatre étapes.

1.6.1. Identification des limites de la machine

La démarche débute par la détermination des limites de la machine (et donc de celles de l'évaluation des risques), en prenant en compte les différentes phases de vie de la machine (installation, fonctionnement, maintenance, démantèlement, etc.). Il s'agit alors de définir dans chacune de ces situations les caractéristiques de la machine, ses performances

et ses interactions avec opérateurs, produits et environnement. On identifie notamment :

- ses limites d'utilisation : par exemple usage normal et raisonnablement prévisible, modes de marche, énergies, matières premières, population utilisatrice et niveau de formation requis ;
- ses limites dans l'espace : par exemple dimensions, amplitudes des mouvements, interactions hommes-machine, intégration dans l'environnement et connexion aux énergies ;
- ses limites dans le temps : par exemple durées de vie, fréquences d'entretien ;
- ses autres limites éventuelles : par exemple températures de fonctionnement, tolérance à la poussière.

Ces limites sont définies en s'appuyant non seulement sur les données de conception disponibles (cahier des charges, plans, notes de calcul, etc.), mais aussi sur la base d'analyses d'activité ou de retours d'expérience sur des machines similaires. La norme NF EN ISO 12100 détaille un certain nombre d'informations à prendre en compte pour cette identification.

Ces éléments conduisent à définir l'ensemble des situations de travail à analyser pour l'identification des phénomènes dangereux.

1.6.2. Identification des phénomènes dangereux

La norme NF EN ISO 12100 répertorie dix types de phénomènes dangereux (voir tableau 2). Les concepteurs doivent donc s'interroger sur la présence ou

Tableau 2 : Exemples de phénomènes dangereux, d'après l'annexe B de la norme NF EN ISO 12100

Type	Phénomènes dangereux	Exemples de dommages associés
1	Phénomènes dangereux mécaniques	Frottement ou abrasion, choc, injection, cisaillement, coupure...
2	Phénomènes dangereux électriques	Électrocution, brûlure...
3	Phénomènes dangereux thermiques	Brûlure, déshydratation, inconfort, gelure...
4	Phénomènes dangereux engendrés par le bruit	Inconfort, perte auditive...
5	Phénomènes dangereux engendrés par les vibrations	Lombalgie, troubles neurologiques...
6	Phénomènes dangereux engendrés par les rayonnements	Lésions oculaires, mutation génétique, maux de tête...
7	Phénomènes dangereux engendrés par des matériaux et des produits	Cancer, corrosion, difficultés respiratoires...

■■■ Suite du tableau 2

Type	Phénomènes dangereux	Exemples de dommages associés
8	Phénomènes dangereux engendrés par le non-respect des principes ergonomiques	Fatigue, troubles musculosquelettiques...
9	Phénomènes dangereux associés à l'environnement dans lequel la machine est utilisée	Indisposition, suffocation...
10	Combinaison de phénomènes dangereux	Déshydratation liée à un effort répété dans une ambiance thermique élevée

non de ces phénomènes dangereux pour chacune des situations de travail précédemment identifiées.

Les étapes initiales de l'évaluation des risques sont primordiales : un phénomène dangereux non identifié ne sera jamais traité.

1.6.3. Estimation des risques

L'estimation des risques consiste à définir un indice pour chaque risque engendré par les phénomènes dangereux précédemment identifiés. Comme représenté sur la figure 3, la détermination de cet indice est basée sur l'estimation de la gravité du dommage et de différents paramètres liés à l'exposition au phénomène dangereux.

Dans le cas d'un processus d'apparition du dommage accidentel, ces paramètres sont la durée ou la fréquence d'exposition au phénomène dangereux, l'occurrence de l'événement dangereux et la possibilité d'évitement du dommage.

Pour un processus chronique, on s'appuiera principalement sur la durée et la fréquence d'exposition au phénomène dangereux.

Différentes méthodes ou outils permettent d'aider les concepteurs pour la réalisation de cette estimation, en faisant parfois appel à des paramètres et des calculs spécifiques. L'annexe 1 présente quelques-uns de ces outils.

1.6.4. Évaluation des risques

La dernière étape, l'évaluation du risque, consiste à porter un jugement sur le risque identifié afin de décider s'il est nécessaire ou non de mettre en place des mesures de prévention.

Ce jugement doit bien entendu prendre en compte le niveau de risque estimé à l'étape précédente mais aussi l'état de la technique, par exemple en s'appuyant sur les normes dans le domaine considéré. Là encore, il est primordial de faire cette évaluation de façon collective.

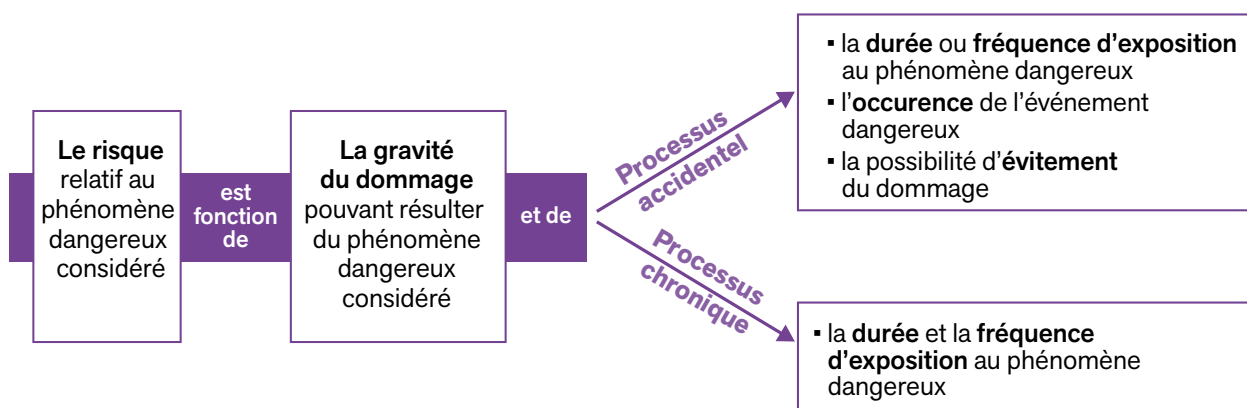


Figure 3. Principaux paramètres de l'estimation des risques

Par ailleurs, certaines méthodes d'estimation proposent des valeurs seuils qui objectivent le niveau d'action nécessaire en termes de mesures de prévention (voir annexe 1).

Lorsque des mesures de prévention sont envisagées, la démarche d'évaluation doit être renouvelée afin :

- d'estimer *a priori* l'efficacité de ces mesures de prévention ;
- d'évaluer les nouveaux risques potentiellement générés par cette mesure de prévention (par exemple, risque de coincement généré par l'ajout d'un protecteur mobile motorisé).

L'ensemble de la démarche d'évaluation des risques doit être documenté et tracé. Pour cela, un tableau tel que le tableau 3 ci-dessous peut être utilisé. Ce tableau, construit dès les premières phases du projet, sera alimenté tout au long du processus de conception. Il permet notamment de synthétiser les informations suivantes :

- la situation de travail analysée et la phase de vie concernée ;

- les phénomènes dangereux et les dommages potentiels identifiés ;
- les paramètres retenus pour l'estimation des risques (qui peuvent éventuellement varier en fonction du type de risque analysé, voir annexe 1) ;
- la ou les mesure(s) de réduction des risques choisie(s) ;
- le niveau des risques attendu après mise en œuvre des mesures de prévention (résultat d'une nouvelle estimation des risques).

La définition d'un niveau de risque n'a pas comme objectif de hiérarchiser les risques entre eux mais d'objectiver la réduction du risque apportée par les mesures de prévention retenues.

L'évaluation des risques avant et après le choix des mesures de prévention doit dans la mesure du possible se faire dans les mêmes conditions (même groupe de travail, mêmes règles, mêmes outils, etc.).

L'ensemble de la démarche doit être documenté et tracé, par exemple dans un tableau.

Tableau 3 : Exemple de tableau d'évaluation des risques de type accidentel

Identification des phénomènes dangereux			Estimation du risque			Réduction du risque	Estimation du risque Après réduction			Complément d'information		
Phase de vie	Situation de travail / événement dangereux	Phénomène dangereux / dommage	Gravité du dommage	Probabilité d'occurrence du dommage	Niveau de risque	Mesures de prévention	Gravité du dommage	Probabilité d'occurrence du dommage	Niveau de risque			
Consignes pour remplir le tableau	Indiquer la phase de vie concernée : transport, essais, installation, exploitation, maintenance, démantèlement...	Indiquer la nature de l'opération et le mode de fonctionnement concernés ainsi que les personnes, les équipements, les produits (consommables, déchets) impliqués.	Décrire et quantifier : – les énergies en jeu (vitesse, masse, pression, température...); – les dangers (éléments coupants ou perforants, présence de substance dangereuse...); – les dommages potentiels (écrasement, coupure, brûlure...).			Voir annexe 1 pour la détermination de ces paramètres.	Décrire les mesures adoptées pour supprimer ou réduire les dommages potentiels.	Voir annexe 1 pour la détermination de ces paramètres.			Expliquer par exemple le choix des mesures, indiquer les fonctions de sécurité associées, les risques résiduels, etc.	
Exemple	Exploitation	Démarrage intempestif lors du chargement de la vaisselle	P1	Brûlure superficielle suite à aspersion d'eau chaude	B	2	B2	Mise en place d'un protecteur interverrouillé	B	0	B0	Mesure de prévention qui nécessite une fonction de sécurité assurée par le circuit de commande

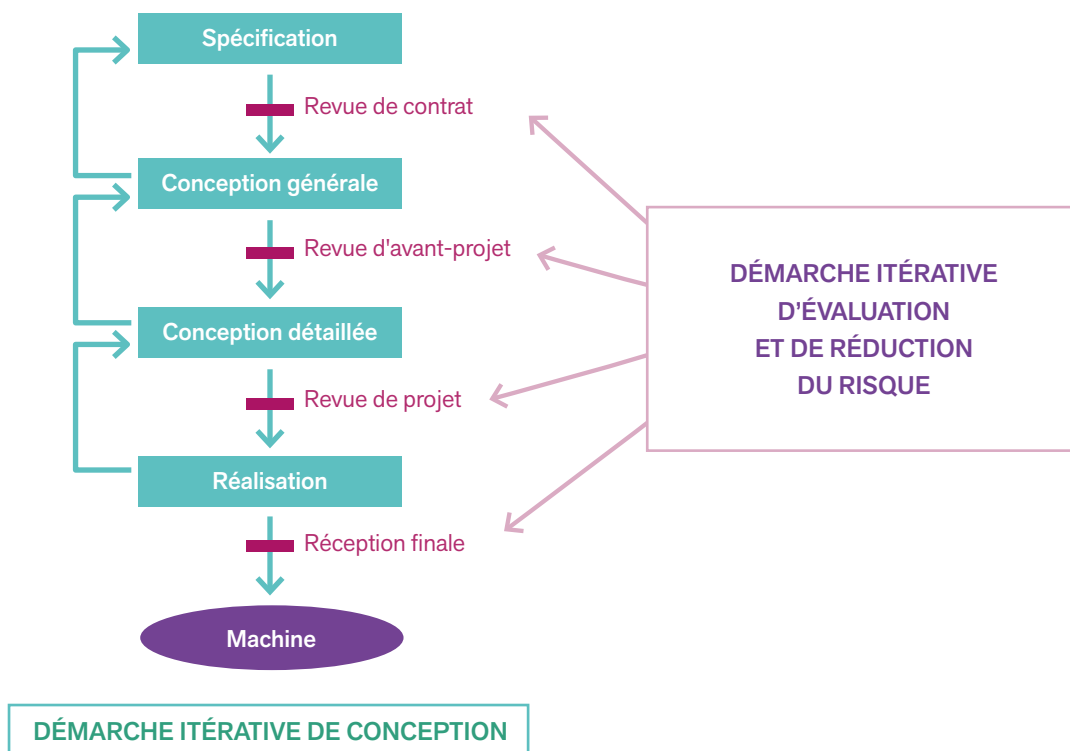


2. Évaluation des risques et démarche de conception d'une machine

L'objectif de cette section est de **montrer comment les différentes étapes de l'évaluation des risques peuvent se décliner à chacune des étapes du processus de conception d'une machine**, en fonction des données alors disponibles. Elle met donc l'accent sur l'articulation entre la démarche d'évaluation des risques et la démarche de conception. Elle sera

illustrée au chapitre 3 par un exemple (conception d'un lave-vaisselle) et une proposition de tableau pour formaliser l'évaluation des risques.

Pour plus de détails sur les différentes étapes de la démarche globale d'évaluation des risques, le lecteur est invité à se reporter à la norme NF EN ISO 12100.



■ Figure 4. Articulation entre démarche de conception et démarche d'évaluation et de réduction des risques

2.1. Étape de spécification – Revue de contrat

Cette première étape consiste, pour le concepteur, à analyser les besoins exprimés par le donneur d'ordres ou les futurs utilisateurs de la machine à concevoir, afin de les transcrire en spécifications techniques.

La revue de contrat est un élément essentiel à utiliser pour la première étape de la démarche d'évaluation des risques, la détermination des limites de la machine (voir chapitre 1.6.1). C'est en effet l'occasion de discuter avec le client du périmètre de la prestation, des conditions d'utilisation normales et raisonnablement prévisibles de la future machine, de son environnement, etc.

Même si, à ce stade, peu de données sont disponibles sur la machine en cours de conception, cette revue de contrat peut déjà alerter le concepteur sur la présence de certains phénomènes dangereux :

- ceux intrinsèquement liés aux matières premières utilisées et aux produits fabriqués ;
- ceux liés aux éléments de process et aux énergies imposées par le donneur d'ordres. En particulier, si des opérations manuelles sont spécifiées, les risques liés aux efforts, postures et répétitivité des mouvements peuvent être anticipés.

Cette revue de contrat peut également permettre au concepteur d'identifier les réglementations et normes applicables en fonction du type de machine (par exemple, existence de normes de types B ou C²), du domaine d'utilisation (directive Atex³, réglementation hygiène, etc.), des matières premières utilisées (fiches de données de sécurité pertinentes, etc.).

Ressources pour l'évaluation des risques

- Cahier des charges : voir brochure *Réussir l'acquisition d'une machine ou d'un équipement de travail*, INRS, ED 6231
- Revue de contrat
- Retours d'expérience sur des machines comparables

2.2. Étape de conception générale

À cette étape, le concepteur envisage différents principes et architectures de solutions et il les évalue au regard des spécifications techniques précédemment établies. À l'issue de cette étape, un avant-projet est retenu pour être étudié plus en détail.

L'évaluation des risques doit être intégrée aux revues d'avant-projet au cours desquelles les principes de solutions seront évalués. Le concepteur peut en effet déjà s'interroger sur la présence de phénomènes dangereux potentiels liés à ces avant-projets et tenter de les supprimer :

- en s'orientant vers des mesures de prévention intrinsèques ;
- en faisant évoluer les spécifications de la machine, en accord avec le donneur d'ordres.

À ce stade, il dispose également de données susceptibles d'initialiser l'évaluation des risques qui n'auront pas été supprimés à l'étape précédente (données sur les procédés, niveaux d'énergie, types d'interactions, modes opératoires, etc.).

Ces analyses peuvent également s'appuyer sur des premières simulations pour recueillir l'avis des utilisateurs finaux, tant du point de vue fonctionnel que de celui des futures activités potentielles.

Ressources pour l'évaluation des risques

- Revues de projet
- Amdec Process (analyse des modes de défaillance, de leurs effets et leur criticité)
- Échanges avec l'utilisateur / le client
- Schémas de principe et plans généraux (mécanique, cinématique, contrôle/commande, etc.)
- Maquette physique ou numérique (CAO 3D, réalité virtuelle)

² Les normes de type B traitent d'aspects particuliers de la sécurité (par exemple, le bruit, les distances de sécurité, les moyens de protection, etc.) alors que les normes de type C s'appliquent à des machines ou à des groupes de machines spécifiques (par exemple, les robots industriels, les extrudeuses, etc.).

³ Directive 2014/34/UE du 26 février 2014 relative aux appareils et systèmes de protection destinés à être utilisés en atmosphères explosibles.

2.3. Étape de conception détaillée

À cette étape, tous les composants élémentaires ainsi que leurs interactions sont définis : leurs propriétés sont caractérisées et la documentation associée (plans, données techniques...) est générée. À l'issue de cette étape, une revue de projet valide les solutions technologiques retenues avant leur lancement en fabrication.

À ce stade, tout le processus d'évaluation et de réduction du risque doit être mis en oeuvre : les solutions envisagées sont évaluées du point de vue des risques qu'elles vont engendrer, et les mesures de prévention sont complètement définies vis-à-vis des risques identifiés.

Des revues de projet autour de simulations, maquettes ou prototypes peuvent être organisées afin de présenter le projet aux futurs utilisateurs et recueillir leur avis tant du point de vue fonctionnel que des choix de moyens de protection.

Les itérations liées à la recherche et à l'optimisation de solutions, y compris des mesures de prévention, sont nombreuses à cette étape. Il est donc particulièrement important de mettre régulièrement à jour l'évaluation des risques et d'assurer la traçabilité des choix qui sont faits.

À l'issue de l'étape de conception détaillée, l'ensemble de la démarche doit être documenté dans le dossier technique de la machine. Les risques résiduels doivent être mentionnés dans la notice d'instructions et les mesures de protection à prendre par l'utilisateur doivent être précisées (équipements de protection individuelle, formation spécifique, par exemple).

Ressources pour l'évaluation des risques

- Revues de projet
- Amdec Process
- Échanges avec les futurs utilisateurs ou le client
- Plans mécaniques détaillés, nomenclatures, modes opératoires
- Schémas détaillés des circuits de commande et de puissances (électrique, pneumatique, automatismes, etc.)
- Prototypes physiques ou numériques (CAO 3D, réalité virtuelle, simulation de partie opérative, etc.)

2.4. Étape de réalisation

L'étape de réalisation de la machine consiste à **approvisionner, fabriquer et assembler ses différents composants, réaliser si besoin les programmes de contrôle-commande, les câblages électriques, pneumatiques, hydrauliques, etc., pour aboutir à une machine opérationnelle. Cette étape intègre également les premiers essais de fonctionnement de la machine.**

Même si, à ce stade, les possibilités de modifications sont réduites, c'est le dernier moment avant la mise en production de la machine, où l'on peut vérifier :

- que des phénomènes dangereux n'ont pas été oubliés dans l'analyse ;
- que les moyens de protection mis en place ne génèrent pas de nouveaux risques et qu'ils sont bien adaptés aux tâches à accomplir.

Le dossier technique, la démarche d'évaluation des risques et la notice d'instructions sont finalisés et le fabricant peut procéder à la vérification finale de conformité aux exigences essentielles de santé et de sécurité applicables à la machine en question. Pour cela, des essais en vraie grandeur, si possible avec les opérateurs finaux, doivent être réalisés.

Ressources pour l'évaluation des risques

- Machine finale
- Notice d'instructions
- Dossier technique
- Réception provisoire et finale avec le client



3. L'évaluation des risques en pratique : exemple de conception d'une machine

Cet exemple permet d'illustrer l'application de la démarche d'évaluation des risques dans les différentes étapes de conception d'une machine, ici un lave-vaisselle professionnel.

Remarque : Les éléments de cet exemple sont fournis uniquement à titre didactique. Ils ne peuvent donc en aucun cas être utilisés en l'état pour la conception d'une machine de ce type.

L'encadré ci-dessous présente un extrait du cahier des charges dans lequel le client précise son besoin.

■ Éléments du cahier des charges fournis par le client

Principales caractéristiques fonctionnelles attendues :

- Chargement et déchargement manuels des paniers de vaisselle (1 seul opérateur)
- Un seul mode de marche « automatique » avec plusieurs cycles préprogrammés possibles (Un cycle comprend par exemple des phases d'alimentation en eau, de chauffage et maintien en température de l'eau, de lavage, de rinçage et de vidange.)
- Choix du cycle à l'aide d'un programmeur
- Départ du cycle par un bouton
- Fin de cycle automatique
- Signalement sonore et visuel pour indiquer que le panier de vaisselle peut être déchargé

Principales caractéristiques techniques attendues :

- Alimentation électrique (220 V monophasé – 4 KW)
- Temps de cycle lavage complet : 120 s
- Capacité : 30 paniers/h, soit 900 assiettes/h
- Taille des paniers : 500 x 500 mm
- Dimensions maxi : L 700 x P 700 x H 1 900 mm
- Poids maxi : 150 kg
- Consommation d'eau maxi par cycle : 5 l
- Matériau principal : acier inox

3.1. Étape de spécification – Revue de contrat

3.1.1. Identification des limites de la machine

L'analyse des éléments contenus dans le cahier des charges (voir encadré page précédente) permet d'identifier les premières limites de la machine : type d'alimentation électrique, modes de marche, nombre d'opérateurs, etc.

Pour compléter la définition de ces limites, plusieurs **questions relatives à l'usage attendu** de ce lave-vaisselle peuvent dès à présent se poser, par exemple à l'aide du mode de questionnement QQQQCPC⁴ :

- **Qui** interviendra sur ce lave-vaisselle, en plus de l'opérateur principal ? Des personnes autres que l'opérateur peuvent-elles être présentes à proximité de la machine en fonctionnement ?
- **Sur quoi** agira le lave-vaisselle ? Quels seront les produits utilisés ? Quel type de vaisselle ? Quels seront les déchets (eaux usées) ?
- **Où** sera installé le lave-vaisselle, dans quel local ? ...
- **Quand** sera utilisé ce lave-vaisselle ? Quelle est la fréquence/durée d'utilisation prévue ?
- **Comment** utiliser ce lave-vaisselle ? Quels sont les modes de marche ? Comment sera rechargé le produit détergent ? Comment faire le nettoyage ? ...

4 La méthode dite «QQQCPC» est à la base une méthode de résolution de problèmes qui permet une collecte rigoureuse de données en se posant systématiquement les questions suivantes : Qui ? Quoi ? Où ? Quand ? Comment ? Pourquoi ? Combien ?

- **Pourquoi** utiliser de l'eau chaude ? Pourquoi un seul mode de marche automatique ?
- **Combien** de vaisselle peut contenir un panier (poids maximum) ? Quelle sera la température de lavage ?

Ce questionnement doit concerner les **différentes phases de vie** du lave-vaisselle (voir tableau 4), et en premier lieu **son usage normal**. Par « usage normal », on entend le fonctionnement attendu par le demandeur : le cahier des charges initial en fournit une première représentation.

Par ailleurs, sur la base de retours d'expérience sur des machines similaires, le concepteur doit également s'interroger sur des phénomènes dangereux déjà connus (bruit, par exemple) ou associés à de potentiels usages anormaux raisonnablement prévisibles, comme :

- l'accès à la zone de lavage pendant un cycle de fonctionnement, soit par inadvertance, soit pour ajouter ou retirer un ustensile du lave-vaisselle ;
- l'essuyage manuel dans le cas d'une eau trop « dure » qui ne permet pas un séchage optimal et sans traces de la vaisselle propre.

3.1.2. Identification des phénomènes dangereux

L'analyse du cahier des charges, les réponses aux questions posées par le concepteur (QQQCPC), ainsi que les données issues de normes ou de documentations sur des machines similaires (par exemple ici la norme NF EN 14957 sur les lave-vaisselle à convoyeur) permettent d'identifier de premiers phénomènes dangereux :

- phénomènes dangereux mécaniques :
 - stabilité de la machine : applicable à tout type de machine,

Tableau 4 : Tableau des phases de vie du lave-vaisselle

Phase de vie	Description par rapport à l'exemple du lave-vaisselle
Transport	Manutention, arrimage du lave-vaisselle
Essais et installation	Installation et mise au point de la machine dans la cuisine du client
Exploitation	Chargement de la vaisselle, cycle de lavage, déchargement de la vaisselle
Maintenance/entretien	Nettoyage de la machine et des filtres, rechargement en détergent, etc.
Démantèlement en fin de vie (pour recyclage et mise au rebut)	Démontage pour le tri et recyclage des différents composants du lave-vaisselle

- objets coupants/tranchants : couteaux, vaisselle ébréchée ;
- phénomènes dangereux électriques : alimentation prévue en 220 V ;
- phénomènes dangereux thermiques : chauffage et maintien en température de l'eau ;
- phénomènes dangereux chimiques : utilisation de détergents ;
- phénomènes dangereux liés au non-respect des principes ergonomiques :
 - efforts et posture de l'opérateur liés au poids et à l'emplacement des paniers de vaisselle lors

- du chargement et déchargement qui sont prévus manuellement,
- efforts et posture de l'installateur liés à la manutention du lave-vaisselle ;
- phénomène dangereux lié au bruit : information tirée du retour d'expérience et de la connaissance des machines similaires.

Toutes ces données permettent d'initialiser un tableau tel que le tableau 5 ci-dessous.

Tableau 5 : Évaluation des risques à l'étape de spécification du lave-vaisselle (exemples présentés à titre pédagogique uniquement)

Identification des phénomènes dangereux			Estimation du risque			Réduction du risque	Estimation du risque Après réduction			Complément d'information
Phase de vie	Situation de travail / événement dangereux	Phénomène dangereux / dommage	Gravité du dommage	Probabilité d'occurrence du dommage	Niveau de risque	Mesures de prévention	Gravité du dommage	Probabilité d'occurrence du dommage	Niveau de risque	
			Voir annexe pour le détail				Voir annexe pour le détail			
Exploitation	Chargement/déchargement	P10 TMS du fait de la posture et des efforts pour la manipulation des paniers de vaisselle plein (10 kg)	Application NF EN 1005-2 Méthode 2 Mréf = 15 kg / Rml2 = 5 kg		1,9 NOK	Aménagement nécessaire du poste de travail				
	Chargement/déchargement Démarrage intempestif du lave-vaisselle	P20 Brûlure par contact avec des matériaux à température élevée	?	2						
	Chargement/déchargement	P30 Chocs avec différentes parties mécaniques (angles vifs par exemple)	C	4	C4	Suppression des angles vifs	A	4	A4	
Exploitation	Ouverture du lave-vaisselle pendant un cycle de fonctionnement	P40 Brûlure par contact avec des matériaux ou de l'eau (aspersion) à température élevée	?	3						
Exploitation	Essuyage manuel lors du déchargement en cas de séchage insuffisant en fin de cycle	P50 Coupure sur des éléments tranchants (couteaux, lames, etc.) ou de la vaisselle ébréchée ou brisée	B	3	B3	Ajout d'un osmoseur pour améliorer les performances de séchage	B	1	B1	
Exploitation	Bruit en fonctionnement	P60 Niveau sonore élevé (équipements similaires à 80 dB)	Utilisation calculette Iso9612 : niveau d'exposition Lex = 77 dB		< 80 dB OK					Niveau de bruit à vérifier
Entretien	Rechargement en détergent par l'opérateur	P70 Brûlure, irritation au contact du détergent	B	3	B3	Choix d'un détergent avec une enveloppe de protection	B	0	B0	Voir fiche de sécurité
Transport Installation	Manutention du lave-vaisselle / basculement (150 kg)	P80 Coincement, choc, écrasement	C	1	C1					
Transport Installation	Manutention du lave-vaisselle	P90 Risque de TMS (lombalgie) dus aux efforts de manutention (150 kg)	Application NF EN 1005-2 Méthode 2 Mréf = 25 kg / Rml2 = 9 kg		17 NOK					

3.1.3. Estimation et évaluation des risques

Dans cet exemple, la cotation relative à l'estimation du risque est donnée à titre d'illustration. Le niveau de risque est ici déterminé en utilisant soit la matrice d'estimation proposée en exemple (voir annexe, figure 7), soit des outils d'estimation plus spécifiques (par exemple, la norme NF EN 1005-2 pour les phénomènes dangereux **P10** et **P90**, ou la calculette ISO 9612 pour **P60**). Pour plus d'informations sur les outils et les paramètres d'estimation des risques, se reporter à l'annexe.

Comme illustré par le tableau 5 page précédente, les données disponibles dans le cahier des charges sont déjà suffisantes pour traiter l'estimation de certains risques, voire pour identifier des mesures de réduction.

Par exemple, la manipulation régulière par un opérateur de paniers de vaisselle dont la masse est estimée à 10 kg peut engendrer un risque de troubles musculosquelettiques (TMS) (**P10**). L'application de la norme NF EN 1005-2 avec les premières données disponibles (impliquant des déplacements verticaux des paniers de vaisselle) permet déjà de calculer un indice de risque indiquant la nécessité de mettre en place des aménagements du poste de travail.

Les problématiques liées à la manutention du lave-vaisselle (**P80** et **P90**) peuvent également être abordées et les indices de risques associés peuvent déjà être calculés sur la base de la masse estimée de la machine.

De la même manière, la connaissance du niveau d'émission sonore de machines similaires [80 dB (A)] permet d'évaluer l'exposition au bruit en milieu de travail (**P60**). Le niveau de bruit réel devra toutefois être mesuré ultérieurement (voir annexe, partie B, calculette ISO 9612) et des actions complémentaires pourront être menées pour diminuer autant que possible ce niveau.

Les risques de chocs de l'opérateur avec des parties mécaniques agressives de la machine (**P30**) peuvent aussi être identifiés et estimés. Une action de prévention est d'ores et déjà envisagée pour supprimer tous les angles vifs dès la conception des éléments du lave-vaisselle.

Les risques de coupure liés à l'essuyage manuel (**P50**) peuvent également donner lieu à une mesure

de **prévention intrinsèque** : l'ajout d'un osmoseur pour adoucir l'eau améliorera par exemple le séchage sans traces de la vaisselle, ce qui réduira la probabilité d'occurrence du dommage en diminuant notamment le temps d'exposition au danger (manipulation de vaisselle pour la réessuyer) et l'occurrence de l'événement dangereux (contact accidentel avec une zone coupante). Les risques de coupure seront ainsi réduits.

De même, les risques de brûlure ou d'irritation liés à l'utilisation d'un détergent (**P70**) peuvent être intrinsèquement réduits par l'utilisation (après échanges avec le client et accord de celui-ci) d'un détergent solide intégrant une enveloppe de protection.

Pour les autres phénomènes dangereux, même si la probabilité d'occurrence du dommage ou sa gravité peuvent déjà être évaluées (par exemple **P20** ou **P40**), l'estimation nécessite d'attendre des éléments qui ne pourront être précisés qu'en étape de conception générale ou détaillée.

3.2. Étape de conception générale

Dans le cas de la conception générale de ce lave-vaisselle, le concepteur aura par exemple choisi les principes de fonctionnement décrits ci-dessous :

- chauffage de l'eau à 65 °C par résistance électrique ;
- chargement manuel par la gauche, déchargement manuel par la droite avec mise en place de convoyeurs d'entrée et de sortie des paniers ;
- mise en place d'un capot manuel qui peut coulisser verticalement afin de fermer la face centrale et les deux faces latérales pour contenir l'eau de nettoyage (la face de derrière est constamment fermée par une paroi fixe) ;
- lavage et rinçage assurés par des barres rotatives d'arrosage qui distribuent l'eau (ou l'eau + le détergent).

Chacun de ces principes doit faire d'objet d'une **nouvelle itération** afin, d'une part, d'**identifier de nouveaux phénomènes dangereux** qui leurs seraient directement associés et, d'autre part, de **compléter l'estimation et l'évaluation des risques précédemment identifiés**.

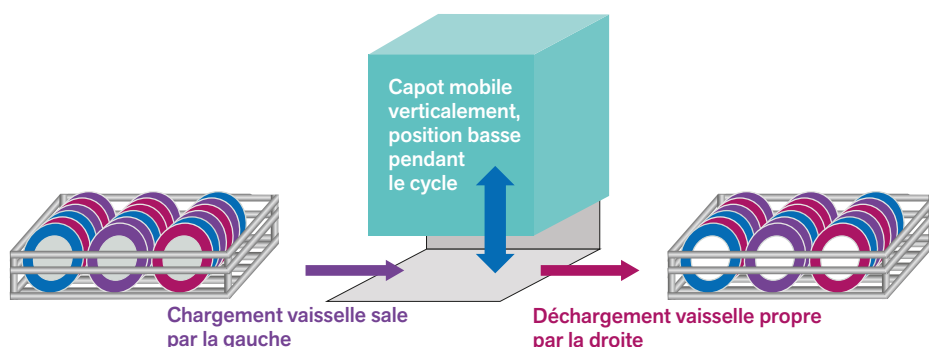


Figure 5. Principe de chargement/déchargement et protection par capot mobile

Par exemple :

- la définition de l'architecture générale et des principes de fonctionnement du lave-vaisselle permet :

- de refaire une estimation du risque de TMS lié à la maintenance des paniers de vaisselle, en prenant cette fois en compte la mise en place des convoyeurs à rouleaux (P10),

- d'identifier un nouveau phénomène dangereux lié aux barres rotatives d'arrosage (choc avec les parties mobiles, P41). La gravité est pour le moment difficile à estimer, la définition précise de ces pièces (forme, masse, vitesse...) n'étant pas connue à cette étape de conception générale,

- d'affiner l'analyse du risque de TMS lié à la maintenance de la machine (P90), en prenant en compte le choix d'une architecture modulaire qui permet de réduire les masses des pièces, et la prévision d'anneaux de levage et de roulettes avec un système de blocage, qui permettront de limiter au maximum les maintenances manuelles ;

- la définition de la température (65 °C) permet d'évaluer la gravité d'une brûlure en cas de contact avec l'eau ou des pièces chaudes (NF EN ISO 13732-1) et ainsi de compléter l'analyse de P20 et P40 ;

- l'ajout d'un capot mobile pour fermer la zone de lavage permet de prévenir les risques de brûlures et de chocs avec les barres rotatives lorsque la machine fonctionne (P20, P40 et P41). Pour cela, ce capot doit être associé à un dispositif d'interverrouillage, qui sera défini lors de la conception du système de commande. Les paramètres utilisés dans la présente estimation du risque pourront alors être réutilisés pour définir la fonction de sécurité associée ainsi que le PL (Performance Level) requis suivant la

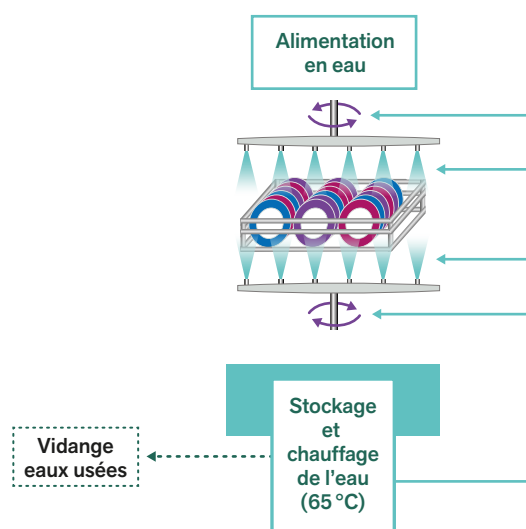


Figure 6. Schéma de principe du lave-vaisselle avec les barres rotatives d'arrosage

norme NF EN ISO 13849-1. Pour plus de détails sur la conception des systèmes de commande, se reporter au document INRS ED 6310, *Sécurité des machines. Principes de conception des systèmes de commande* ;

- l'ajout du capot génère de nouveaux risques et conduit à l'ajout de nouvelles lignes dans le tableau, du fait :

- des efforts répétés nécessaires à son ouverture et à sa fermeture (P100),
- de la possibilité de pincement des mains ou des doigts lors de sa fermeture (P110).

Le manque de données détaillées de conception (solutions techniques retenues, forme et masse exactes des pièces, etc.) ne permet toutefois pas encore de remplir toutes les colonnes du tableau. Elles pourront être renseignées à l'étape suivante, lors de la conception détaillée.

Tableau 6 : Évaluation des risques à l'étape de conception générale du lave-vaisselle

Les cases grisées montrent les évolutions par rapport au tableau de l'étape précédente.

Identification des phénomènes dangereux			Estimation du risque			Réduction du risque	Estimation du risque Après réduction			Complément d'information
Phase de vie	Situation de travail / événement dangereux	Phénomène dangereux / dommage	Gravité du dommage	Probabilité d'occurrence du dommage	Niveau de risque	Mesures de prévention	Gravité du dommage	Probabilité d'occurrence du dommage	Niveau de risque	
			Voir annexe pour le détail				Voir annexe pour le détail			
Exploitation	Chargement/ déchargement	<i>P10</i> TMS du fait de la posture et des efforts pour la manipulation des paniers de vaisselle plein (10 kg)	Application NF EN 1005-2 Méthode 2 Mréf = 15 kg / Rml2 = 5 kg		1,9 NOK	Conveyeur à rouleaux libres amont et aval à hauteur de la zone de lavage	Application NF EN 1005-2 Méthode 1 (Masse critique)		OK	Plus de déplacement vertical
	Chargement/ déchargement Démarrage intempestif du lave-vaisselle	<i>P20</i> Brûlure par contact avec des matériaux à température élevée : 65 °C	B	2	B2	Mise en place d'un protecteur interverrouillé	B	0	B0	FS1 – Interverrouillage
	Chargement/ déchargement	<i>P30</i> Chocs avec différentes parties mécaniques (angles vifs par exemple)	C	4	C4	Suppression des angles vifs	A	4	A4	
Exploitation	Ouverture du lave-vaisselle pendant un cycle de fonctionnement	<i>P40</i> Brûlure par contact avec des matériaux ou de l'eau (aspersion) à température élevée : 65 °C	B	3	B3	Mise en place d'un protecteur interverrouillé	B	1	B1	FS1 – Interverrouillage
		<i>P41</i> Chocs avec les barres rotatives d'aspersion en mouvement	?	3		Mise en place d'un protecteur interverrouillé	?	0		FS1 – Interverrouillage
Exploitation	Essuyage manuel lors du déchargement en cas de séchage insuffisant en fin de cycle	<i>P50</i> Coupure sur des éléments tranchants (couteaux, lames, etc.) ou de la vaisselle ébréchée ou brisée	B	3	B3	Ajout d'un osmoseur pour améliorer les performances de séchage	B	1	B1	
Exploitation	Bruit en fonctionnement	<i>P60</i> Niveau sonore élevé (équipements similaires à 80 dB)	Utilisation calculette Iso9612 : niveau d'exposition Lex = 77 dB		< 80 dB OK					Niveau de bruit à vérifier
Entretien	Rechargement en détergent par l'opérateur	<i>P70</i> Brûlure, irritation au contact du détergent	B	3	B3	Choix d'un détergent avec une enveloppe de protection	B	0	B0	Voir fiche de sécurité
Transport Installation	Manutention du lave-vaisselle / basculement (150 kg)	<i>P80</i> Coincement, choc, écrasement	C	1	C1					
Transport Installation	Manutention du lave-vaisselle	<i>P90</i> Risque de TMS (lombalgie) dus aux efforts de manutention (150 kg)	Application NF EN 1005-2 Méthode 2 Mréf = 25 kg / Rml2 = 9 kg		17 NOK	Choix d'une structure modulaire + anneaux de levage + roulettes à freins	Sans objet		OK	Suppression des manutentions manuelles de charges lourdes
Exploitation	Ouverture/ fermeture du capot mobile	<i>P100</i> Risque de TMS dus aux efforts de lever/ baisser du capot								
		<i>P110</i> Risque de pincement lors de la fermeture du capot	?	3						

3.3. Étape de conception détaillée

La conception détaillée du lave-vaisselle fige à présent l'ensemble des choix et les données techniques. Les composants et sous-systèmes sont donc complètement caractérisés.

Il convient donc de refaire une **nouvelle itération** afin de **systématiquement identifier les nouveaux phénomènes dangereux** que ces composants pourraient engendrer et d'**affiner l'estimation et l'évaluation des risques déjà identifiés au préalable** mais pour lesquels on manquait alors d'éléments.

Par exemple :

- le plan de définition du capot est maintenant disponible. Des améliorations de sa conception ont permis de réduire les risques liés aux efforts pour sa manipulation (**P100**) et aux risques de coincement lors de sa fermeture (**P110**) ;

- la définition détaillée du bâti du lave-vaisselle et de l'ensemble des composants (poids, centre de gravité, etc.) permet de finaliser l'évaluation des risques de basculement lors de la phase d'installation. La masse réduite et la mise en place d'anneaux de levage et de roulettes permettent d'évaluer la réduction de ce risque (**P80**). C'est également l'occasion de prendre en compte l'insonorisation du bâti pour réduire le risque lié au bruit, qu'il est toutefois encore difficile de quantifier (**P60**) ;

- la connaissance de la chaîne cinématique, de la forme et de la masse des pièces en mouvement permet maintenant de faire l'évaluation détaillée du risque de choc avec les barres rotatives d'aspersions (**P41**).

Ainsi, le tableau d'évaluation des risques peut être mis à jour en complétant les lignes présentes avec la connaissance des nouvelles données de conception. Les évolutions du tableau entre les étapes de conception générale et de conception détaillée y sont à nouveau identifiées par des cases grisées.

Tableau 7 : Évaluation des risques à l'étape de conception détaillée du lave-vaisselle

Identification des phénomènes dangereux			Estimation du risque			Réduction du risque	Estimation du risque Après réduction			Complément d'information
Phase de vie	Situation de travail / événement dangereux	Phénomène dangereux / dommage	Gravité du dommage	Probabilité d'occurrence du dommage	Niveau de risque	Mesures de prévention	Gravité du dommage	Probabilité d'occurrence du dommage	Niveau de risque	
			Voir annexe pour le détail				Voir annexe pour le détail			
Exploitation	Chargement/déchargement	P10 TMS du fait de la posture et des efforts pour la manipulation des paniers de vaisselle plein (10 kg)	Application NF EN 1005-2 Méthode 2 Mréf = 15 kg / Rml2 = 5 kg		1,9 NOK	Convoyeur à rouleaux libres amont et aval à hauteur de la zone de lavage	Application NF EN 1005-2 Méthode 1 (Masse critique)		OK	Plus de déplacement vertical
	Chargement/déchargement	P20 Brûlure par contact avec des matériaux à température élevée : 65 °C	B	2	B2	Mise en place d'un protecteur interverrouillé	B	0	B0	FS1 – Interverrouillage
	Chargement/déchargement	P30 Chocs avec différentes parties mécaniques (angles vifs par exemple)	C	4	C4	Suppression des angles vifs	A	4	A4	
Exploitation	Ouverture du lave-vaisselle pendant un cycle de fonctionnement	P40 Brûlure par contact avec des matériaux ou de l'eau (aspersion) à température élevée : 65 °C	B	3	B3	Mise en place d'un protecteur interverrouillé	B	1	B1	FS1 – Interverrouillage
		P41 Chocs avec les barres rotatives d'aspersion en mouvement	C	3	C3	Mise en place d'un protecteur interverrouillé	C	0	C0	FS1 – Interverrouillage

■ ■ ■ Suite du tableau 7

Identification des phénomènes dangereux				Estimation du risque			Réduction du risque	Estimation du risque Après réduction			Complément d'information		
Phase de vie	Situation de travail / événement dangereux	Phénomène dangereux / dommage		Gravité du dommage	Probabilité d'occurrence du dommage	Niveau de risque	Mesures de prévention	Gravité du dommage	Probabilité d'occurrence du dommage	Niveau de risque			
											Voir annexe pour le détail		
Exploitation	Essuyage manuel lors du déchargement en cas de séchage insuffisant en fin de cycle	P50	Coupure sur des éléments tranchants (couteaux, lames, etc.) ou de la vaisselle ébréchée ou brisée	B	3	B3	Ajout d'un osmoseur pour améliorer les performances de séchage	B	1	B1			
Exploitation	Bruit en fonctionnement	P60	Niveau sonore élevé (équipements similaires à 80 dB)	Utilisation calculette Iso9612: niveau d'exposition Lex = 77 dB			< 80 dB OK	Insonorisation du bâti et du capot				Niveau de bruit à vérifier	
Entretien	Rechargement en détergent par l'opérateur	P70	Brûlure, irritation au contact du détergent	B	3	B3	Choix d'un détergent avec une enveloppe de protection	B	0	B0	Voir fiche de sécurité		
Transport Installation	Manutention du lave-vaisselle / basculement (150 kg)	P80	Coincement, choc, écrasement	C	1	C1	Anneaux de levage et roulettes Masse réduite = 110 kg	C	1	C1			
Transport Installation	Manutention du lave-vaisselle	P90	Risque de TMS (lombalgie) dus aux efforts de manutention (150 kg)	Application NF EN 1005-2 Méthode 2 Mréf = 25 kg / Rml2 = 9 kg			17 NOK	Choix d'une structure modulaire + anneaux de levage + roulettes à freins Masse réduite = 110 kg			OK	Suppression des manutentions manuelles de charges lourdes	
Exploitation	Ouverture/ fermeture du capot mobile	P100	Risque de TMS dus aux efforts de lever/baisser du capot (4 kg à 180 cm)	Application NF EN 1005-2 Méthode 2 Mréf = 15 kg / Rml2 = 0 kg			>1 NOK	Équilibrage du capot pour limiter l'effort à 1 kg et baisser la poignée à 150 cm	Application NF EN 1005-2 Méthode 2 Mréf = 15 kg / Rml2 = 11 kg			0,1 OK	
		P110	Risque de pincement lors de la fermeture du capot (4 kg)	C	3	C3	Joint souple en bordure du capot	A	3	A3			

3.4. Étape de réalisation

Les différents éléments du lave-vaisselle ont été réalisés, câblés, programmés, etc.

Les premiers essais ont révélé que la poignée solide du capot de protection avait tendance à devenir chaude après plusieurs cycles de lavage. Un risque de brûlure est alors identifié, il n'avait pas été anticipé dans les analyses précédentes (P111).

Une itération de conception est alors nécessaire pour pallier ce problème. Il est alors **utile, même lors**

des dernières étapes de conception, de compléter le tableau d'évaluation des risques (voir tableau 8). C'est également l'occasion de **vérifier à cette étape que les mesures de réduction des risques qui ont été prises donnent satisfaction sans engendrer de nouveaux phénomènes dangereux**. On vérifiera par exemple l'efficacité de l'osmoseur (P50), et une mesure du niveau sonore réel de la machine en fonctionnement validera la réduction du risque lié au bruit (P60).

Tableau 8 : Évaluation des risques à l'étape de réalisation du lave-vaisselle

Identification des phénomènes dangereux			Estimation du risque			Réduction du risque	Estimation du risque Après réduction			Complément d'information	
Phase de vie	Situation de travail / événement dangereux	Phénomène dangereux / dommage	Gravité du dommage	Probabilité d'occurrence du dommage	Niveau de risque	Mesures de prévention	Gravité du dommage	Probabilité d'occurrence du dommage	Niveau de risque		
											Voir annexe pour le détail
Exploitation	Chargement/déchargement	P10 TMS du fait de la posture et des efforts pour la manipulation des paniers de vaisselle plein (10 kg)	Application NF EN 1005-2 Méthode 2 Mréf = 15 kg / Rml2 = 5 kg			1,9 NOK	Convoyeur à rouleaux libres amont et aval à hauteur de la zone de lavage	Application NF EN 1005-2 Méthode 1 (Masse critique)		OK	Plus de déplacement vertical
	Chargement/déchargement Démarrage intempestif du lave-vaisselle	P20 Brûlure par contact avec des matériaux à température élevée : 65 °C	B	2	B2	Mise en place d'un protecteur interverrouillé	B	0	B0	FS1 – Interverrouillage	
	Chargement/déchargement	P30 Chocs avec différentes parties mécaniques (angles vifs par exemple)	C	4	C4	Suppression des angles vifs	A	4	A4		
Exploitation	Ouverture du lave-vaisselle pendant un cycle de fonctionnement	P40 Brûlure par contact avec des matériaux ou de l'eau (aspersion) à température élevée : 65 °C	B	3	B3	Mise en place d'un protecteur interverrouillé	B	1	B1	FS1 – Interverrouillage	
		P41 Chocs avec les barres rotatives d'aspersion en mouvement	C	3	C3	Mise en place d'un protecteur interverrouillé	C	0	C0	FS1 – Interverrouillage	
Exploitation	Essuyage manuel lors du déchargement en cas de séchage insuffisant en fin de cycle	P50 Coupure sur des éléments tranchants (couteaux, lames, etc.) ou de la vaisselle ébréchée ou brisée	B	3	B3	Ajout d'un osmoseur pour améliorer les performances de séchage	B	1	B1	Osmoseur OK	
Exploitation	Bruit en fonctionnement	P60 Niveau sonore élevé (équipements similaires à 80 dB)	Utilisation calculette Iso9612 : niveau d'exposition Lex = 77 dB			< 80 dB OK	Insonorisation du bâti et du capot	Utilisation calculette Iso9612 : niveau d'exposition Lex' = 71 dB		< 80 dB OK	Niveau de bruit mesuré à 74 dB risque réduit
Entretien	Rechargement en détergent par l'opérateur	P70 Brûlure, irritation au contact du détergent	B	3	B3	Choix d'un détergent avec une enveloppe de protection	B	0	B0	Voir fiche de sécurité	



■ ■ ■ Suite du tableau 8

Identification des phénomènes dangereux				Estimation du risque			Réduction du risque	Estimation du risque Après réduction			Complément d'information
Phase de vie	Situation de travail / événement dangereux	Phénomène dangereux / dommage		Gravité du dommage	Probabilité d'occurrence du dommage	Niveau de risque	Mesures de prévention	Gravité du dommage	Probabilité d'occurrence du dommage	Niveau de risque	
				Voir annexe pour le détail				Voir annexe pour le détail			
Transport Installation	Manutention du lave-vaisselle / basculement (150 kg)	P80	Coincement, choc, écrasement	C	1	C1	Anneaux de levage et roulettes Masse réduite = 110 kg	C	1	C1	
Transport Installation	Manutention du lave-vaisselle	P90	Risque de TMS (lombalgie) dus aux efforts de manutention (150 kg)	Application NF EN 1005-2 Méthode 2 Mréf = 25 kg / Rml2 = 9 kg		17 NOK	Choix d'une structure modulaire + anneaux de levage + roulettes à freins Masse réduite = 110 kg			OK	Suppression des manutentions manuelles de charges lourdes
Exploitation	Ouverture/fermeture du capot mobile	P100	Risque de TMS dus aux efforts de lever/baisser du capot (4 kg à 180 cm)	Application NF EN 1005-2 Méthode 2 Mréf = 15 kg / Rml2 = 0 kg		>1 NOK	Équilibrage du capot pour limiter l'effort à 1 kg et baisser la poignée à 150 cm	Application NF EN 1005-2 Méthode 2 Mréf = 15 kg / Rml2 = 11 kg		0,1 OK	
		P110	Risque de pincement lors de la fermeture du capot (4 kg)	C	3	C3	Joint souple en bordure du capot	A	3	A3	
		P111	Brûlure à la main avec la poignée du capot mobile	B	4	B4	Isolement thermique de la poignée et changement de matière	A	0	A0	

Annexe

Outils et méthodes pour l'estimation et l'évaluation des risques



Les méthodes et outils présentés ci-après ne doivent pas être envisagés comme des outils « clés en main ». Il ne s'agit là que d'exemples, et d'autres outils peuvent être utilisés, du moment que l'entreprise les maîtrise et qu'ils correspondent à ses besoins. Dans tous les cas, il est souhaitable qu'ils soient utilisés de façon collective et que les résultats obtenus soient remis dans le contexte du projet de conception.

Enfin, pour l'estimation des différents risques, il est recommandé aux concepteurs qui ne maîtrisent pas complètement la démarche de faire appel à des ressources externes compétentes, comme les IPRP (intervenant en prévention des risques professionnels), les Carsat/Cramif ou CGSS, ou encore les organismes de contrôle compétents.

L'estimation des risques en conception consiste à déterminer un indice pour chaque risque engendré par les phénomènes dangereux précédemment identifiés. Cet indice dépend de la gravité du dommage et de sa probabilité d'occurrence. Pour imprécise qu'elle soit, la combinaison de ces deux variables suffit dans la plupart des cas pour décider de la nécessité de mettre en place des mesures de prévention.

La façon de définir ces paramètres peut toutefois varier en fonction de la nature du risque considéré. Des exemples sont présentés ci-après.

A. Processus accidentel d'apparition du dommage (phénomènes dangereux mécaniques, électriques, thermiques, etc.)

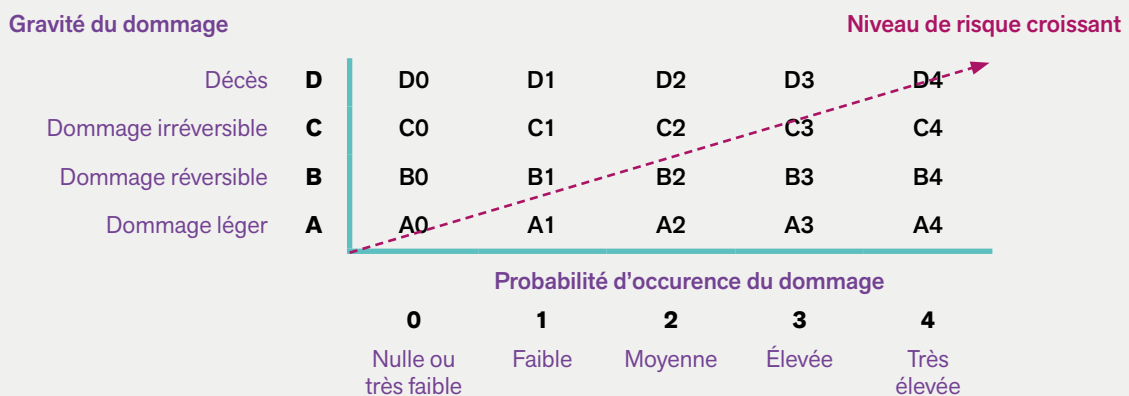
Il existe une grande variété de graphes ou de matrices pour l'estimation des risques de type accidentel, et aucun d'eux n'est normalisé.

Un exemple de matrice pouvant être utilisée est présenté dans la *figure 7*. Cette matrice permet de définir un indice pour les deux principaux paramètres d'évaluation, à savoir :

- la gravité du dommage ;
- la probabilité d'occurrence de ce dommage.

En premier lieu, il convient de définir la gravité du dommage en s'appuyant par exemple sur les conséquences pour le salarié. Pour cela, quatre niveaux (notés de A à D) sont proposés :

- A : Dommage léger (par exemple, contusion) ;
- B : Dommage réversible (par exemple, brûlure superficielle, coupure) ;



■ Figure 7. Exemple de matrice utilisable pour l'estimation du risque

- C : Dommage irréversible (par exemple, sectionnement d'un doigt, perte oculaire) ;
- D : Décès (par exemple, électrocution, chute de hauteur...).

La probabilité d'occurrence du dommage avec la gravité retenue doit ensuite être estimée. Pour cela, cinq niveaux sont proposés :

- 0 : Nulle ou très faible (dommage quasi impossible) ;
- 1 : Faible (dommage possible mais inhabituel) ;
- 2 : Moyenne (dommage possible) ;
- 3 : Élevée (dommage probable et prévisible) ;
- 4 : Très élevée (dommage quasi certain).

Si nécessaire, pour faciliter l'estimation de cette probabilité d'occurrence du dommage, il est également possible de la décomposer selon les trois paramètres suivants :

- l'exposition de la ou des personnes aux phénomènes dangereux ;
- l'occurrence d'un événement dangereux ;
- les possibilités techniques et humaines d'éviter ou de limiter le dommage.

L'estimation des risques selon la norme NF EN ISO 12100 ne doit pas être confondue avec celle de la norme NF EN ISO 13849-1. La première caractérise le risque dans sa globalité alors que la seconde porte uniquement sur la part du risque couvert par le système de commande (voir brochure INRS ED 6310 pour plus de détails).

Nous proposons ensuite d'utiliser ces indices pour objectiver l'influence des mesures de prévention sur **chacun des paramètres de l'estimation** : la gravité du dommage a-t-elle été réduite (de C à B par exemple) ?

La probabilité d'occurrence de ce dommage a-t-elle été réduite (de 3 à 1 par exemple) ?

Comme l'objectif de l'estimation des risques en conception n'est pas de hiérarchiser les risques entre eux, il n'est pas utile de définir un indice global à partir de « pseudo » calculs entre les indices de chacun des paramètres.

Il faut ensuite se questionner sur chacun de ces paramètres afin d'évaluer s'il a été réduit au minimum et ce, au regard de l'état de la technique (voir encadré "État de la technique" p. 5).

En effet, pour les risques accidentels, en particulier pour les risques mécaniques, il n'existe pas dans l'absolu de valeur limite en dessous de laquelle le risque pourrait être considéré comme non significatif, et donc ne nécessiter aucune mesure de prévention.

L'estimation de ces paramètres, et surtout leur évaluation qui consiste à décider si la réduction du risque est ou non suffisante, contient nécessairement une part de subjectivité. Pour la limiter, il est conseillé :

- de s'appuyer autant que possible sur des données « objectives » consolidées par des retours d'expérience et la connaissance de l'accidentologie pour le type de machines considérées ;
- de la réaliser de façon collective.

Pour en savoir plus, rendez-vous sur www.inrs.fr :

- Risque mécanique : <http://www.inrs.fr/risques/mecaniques>
- Risque électrique : <http://www.inrs.fr/risques/electriques>
- Risque incendie/explosion : <http://www.inrs.fr/risques/incendie-explosion>
- Risque thermique : NF EN ISO 13732-1 : « Ergonomie des ambiances thermiques. Méthodes d'évaluation de la réponse humaine au contact avec des surfaces. Partie 1 : surfaces chaudes »
- Mécaprev : La bibliothèque en ligne de solutions de prévention des risques

B. Processus chronique d'apparition du dommage

Même si l'estimation des risques associés aux phénomènes dangereux présentés ci-après peut se faire *a minima* en utilisant une matrice comme celle présentée en *figure 7 p. 25*, certaines méthodes permettent toutefois une approche plus détaillée et objective.

B1. Phénomènes dangereux engendrés par le bruit, les vibrations, les rayonnements

Les risques liés aux nuisances physiques émises par les machines que sont le bruit, les vibrations, les rayonnements optiques ou électromagnétiques sont principalement de nature chronique.

La logique d'évaluation de ce type de risques est de déterminer une dose d'exposition en combinant :

- le niveau d'exposition : niveau sonore reçu, niveau vibratoire subi, niveau des rayonnements optiques ou électromagnétiques ;
- éventuellement une durée d'exposition (souvent sur la journée de travail).

Pour l'évaluation des risques associés, les concepteurs peuvent utilement exploiter les valeurs limites d'exposition ou les valeurs d'action définies dans les textes réglementaires applicables aux employeurs. En effet, au-delà de ces valeurs, des mesures de diminution de l'exposition doivent être prises. Sans attendre, des mesures de protection doivent aussi être appliquées.

Pour en savoir plus, rendez-vous sur www.inrs.fr :

- Osev : Outil simplifié d'évaluation de l'exposition aux vibrations transmises à l'ensemble du corps
- Calcuette Vibration ensemble du corps
- Calcuette Vibration mains-bras
- Calcuette ISO 9612 : Détermination de l'exposition au bruit en milieu de travail, méthode d'expertise
- Catrayon : Évaluation de l'exposition aux rayonnements optiques dans les locaux de travail
- Oseray : Outil simplifié d'évaluation des risques dus aux rayonnements électromagnétiques

B2. Phénomènes dangereux engendrés par les matériaux et les produits

Sur une machine, les matières premières utilisées, les produits fabriqués ou les déchets générés peuvent présenter des risques de nature chimique ou biologique qui sont principalement de nature chronique.

La logique d'évaluation de ce type de risques est de déterminer une dose d'exposition en combinant :

- la dangerosité du produit ou classe de danger (par exemple à l'aide des informations contenues dans la fiche de données de sécurité du produit concerné) ;
- la concentration dans l'air (ppm ou mg/m³) en cas d'inhalation ou la quantité de produits utilisés en cas d'ingestion ou de contact cutané ;
- la durée d'exposition sur une journée de travail.

Pour en savoir plus, rendez-vous sur www.inrs.fr :

- Seirich : Système d'évaluation et d'information sur les risques chimiques en milieu professionnel
- ProtecPo, logiciel pour mieux protéger sa peau
- IH Skin Perm, logiciel d'estimation de la pénétration des polluants chimiques à travers la peau
- IHMod, logiciel de caractérisation du risque chimique
- Mixie, logiciel pour évaluer les multiexpositions aux substances chimiques

B3. Phénomènes dangereux engendrés par le non-respect des principes ergonomiques

Dès lors qu'une opération manuelle est spécifiée dans le cahier des charges d'une future machine (par exemple, approvisionnement en matière première ou évacuation des produits finis), ou envisagée par les concepteurs (opération d'assemblage, de nettoyage, de surveillance, etc.), les risques liés au non-respect de principes ergonomiques doivent être évalués.

Les concepteurs de machine peuvent pour cela s'appuyer sur les normes NF EN 1005-1 à 5 sur l'évaluation des performances physiques des opérateurs : efforts de manutention, forces à appliquer au poste de travail, postures, répétitivité des gestes.

La logique de ces évaluations repose sur la détermination d'un indice de risque à partir du ratio entre la sollicitation envisagée (force, posture, répétitivité) et une valeur de référence pondérée par des coefficients prenant en compte la situation de travail. Selon la valeur de cet indice, la situation de travail est considérée comme acceptable, acceptable sous conditions ou inacceptable.

Pour en savoir plus, rendez-vous sur www.inrs.fr :

- Méthode d'analyse de la charge physique de travail, INRS, ED 6161

Toutes les publications de l'INRS sont téléchargeables sur ■

www.inrs.fr

Pour commander les publications de l'INRS au format papier ■

Les entreprises du régime général de la Sécurité sociale peuvent se procurer les publications de l'INRS à titre gratuit auprès des services prévention des Carsat/Cramif/CGSS. Retrouvez leurs coordonnées sur www.inrs.fr/reseau-am

L'INRS propose un service de commande en ligne pour les publications et affiches, payant au-delà de deux documents par commande.

Les entreprises hors régime général de la Sécurité sociale peuvent acheter directement les publications auprès de l'INRS en s'adressant au service diffusion par mail à service.diffusion@inrs.fr

L'objectif de cette brochure est d'aider les concepteurs de machines à comprendre et à déployer la démarche d'évaluation des risques professionnels tout au long de leurs projets. Elle détaille comment l'évaluation des risques peut s'articuler avec chacune des étapes du processus de conception. Un exemple concret illustre cette approche de prévention dès la conception.



Institut national de recherche et de sécurité
pour la prévention des accidents du travail
et des maladies professionnelles
65, boulevard Richard-Lenoir 75011 Paris
Tél. 01 40 44 30 00 • info@inrs.fr

Édition INRS ED 6389

1^{re} édition | octobre 2020 | 2 000 ex. | ISBN 978-2-7389-2585-5

L'INRS est financé par la Sécurité sociale
Assurance maladie / Risques professionnels