

IDENTIFICATION DES RISQUES D'UNE CHAÎNE DE PRODUCTION DE PECTINE PAR COUPLAGE DE METHODES ET MISE EN PLACE D'UN PLAN DE PRÉVENTION ADAPTÉ

Detrait A.¹, Schieber L.¹, Mallard de la Varenne A.¹, Cluzel M.¹, Rodrigues L.¹, Azouani R.¹

¹Ecole de Biologie Industrielle, 13 boulevard de l'Hautil, 95092 Cergy-Pontoise, FRANCE

Résumé: Plusieurs méthodes de gestion des risques sont développées ici sur un procédé d'extraction de pectine à partir de peaux d'oranges, avec une attention particulière sur l'étape la plus critique : l'hydrolyse acide. L'analyse préliminaire des risques, APR, a permis d'identifier globalement les possibles aléas du procédé global avec leurs causes et conséquences probables. La somme des risques encourus a permis le choix de l'équipement le plus critique pour la suite de l'analyse. La checklist associée au nœud défini précédemment comme le plus à risques est réalisée par une équipe pluridisciplinaire afin de dégager d'une façon pratique les dangers encourus dans l'immédiat. Enfin, grâce aux étapes préliminaires, la méthode Hazard and Operability Studies (HAZOP) a été appliquée sur le premier mélangeur du procédé. Une nouvelle échelle des classes de probabilité et la grille de relation-fréquence des dangers a été adaptée au système étudié. L'HAZOP a permis d'analyser chacun des risques associés au mélangeur et de calculer leurs probabilités d'apparition pour mettre en place un plan de prévention adapté et chiffré. Le couplage APR-checklist-HAZOP se révèle donc être un choix intéressant permettant de répondre à la problématique des entreprises sur la gestion des risques industriels liés à un procédé de fabrication.

Mots clés : Analyse de risques, APR, Check-list, HAZOP, Plan de prévention

1 INTRODUCTION

Le risque industriel majeur est la « conséquence d'un aléa d'origine technologique, dont les effets peuvent mettre en jeu un grand nombre de personnes, occasionnent des dégâts importants et dépassent les capacités de réaction des instances directement concernées » [1]. Pour réduire ces risques, des réglementations (ICPE, SEVESO) obligent les industriels à réaliser des études d'impact et de danger basées sur quatre points essentiels : la réduction des risques à la source (réduction de l'aléa), la maîtrise de l'urbanisation (réduction de l'enjeu), l'organisation des secours et l'information à la population. Ces actions se traduisent par l'utilisation de divers outils et méthodes d'analyse de risques (AMDEC, HAZOP, What if...), la rédaction de plans de prévention des risques technologiques, de plans d'intervention pour permettre d'anticiper tous les accidents possibles. Elles sont à mettre en place avant la conception du projet et à entretenir durant toute l'activité pour être optimales. L'objectif de cet article est d'utiliser ces méthodes en complémentarité sur un procédé existant, l'extraction de pectine à partir de peaux d'oranges [2]. Notre objectif est de garantir la sécurité des personnes travaillant sur le site, des riverains et de l'environnement. Pour cela plusieurs méthodes ont été utilisées : une APR sur l'ensemble du procédé nous permettant d'avoir une vision globale des risques présents puis une checklist et une HAZOP appliquées sur la première étape du procédé correspondante à l'hydrolyse de la pectine. Cette étape est la plus critique puisqu'elle initie tout le processus et met en jeu les réactifs les plus toxiques. Ainsi nous avons réalisé un plan de prévention et estimé son chiffrage.

2 ETAT DE L'ART ET OBJECTIFS DE LA RECHERCHE

2.1 Etat de l'art

Malgré une prise de conscience des hommes, et de nombreuses réflexions sur la gestion des risques, le nombre d'accidents industriels ne semble pas diminuer sur l'ensemble de la planète. En effet, à titre d'exemples, la Chine a présenté une augmentation de 98% d'accidents industriels entre 2010 et 2013 tandis que le Japon, suite au tsunami de 2011, a subi des centaines d'accidents industriels en plus de celui de Fukushima [3]. En France, c'est 1213 accidents industriels recensés en 2014 par le ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie [4]. Afin de résoudre ce problème majeur, les industriels développent la gestion de risques.

Différentes méthodes de gestion des risques sont ainsi applicables selon le type d'industrie. Les risques peuvent être de différents ordres : industriels, technologiques, relevant d'actions malveillantes ... Ils doivent être mis en évidence avant le lancement même du projet par une ou plusieurs techniques, afin d'y remédier avant même le début des travaux ou des achats par exemple. Parmi ces méthodes, nous pouvons citer l'APR, l'arbre des défaillances, l'analyse What if qui sont complémentaires et initient une étude plus poussée telle que l'HAZOP. Ces méthodes peuvent être classées selon la nature des résultats obtenus : qualitatif, semi-quantitatif ou quantitatif (Tableau I). Les méthodes employées dans ce projet sont détaillées dans la partie « Méthodes utilisées ».

Tableau I: Classification des méthodes d'analyse des risques. MOSAR: Méthode organisée et systémique d'analyse des risques; ATC: analyse des tâches critiques; HAZAN: Hazard analysis; REX: Retour d'expérience [5]

Méthodes	Qualitatives	Semi-quantitatives	Quantitatives
Inductives cause → effet	APR HAZOP originelle What-if HACCP MOZAR	AMDEC HAZOP probabiliste ATC	HAZAN Arbre des événements Blocs-diagrammes de fiabilité
Déductives effet → cause	Arbre des causes		REX Arbre des défaillances

2.2 Retour d'expériences

Les produits les plus impliqués dans les accidents sont les acides dans 65% des cas. Les industries les plus concernées sont donc inévitablement les industries chimiques (13,4% des accidents en France) tandis que les industries de l'agro-alimentaire sont en queue de peloton avec 5,7% seulement des accidents. Lors de ces événements, ce sont les erreurs humaines qui sont le plus souvent la cause responsable, dues à de mauvaises formations du personnel sur les installations [6].

Selon la base de données ARIA [7] recensant les accidents industriels français, deux ont concernés l'extraction de pectine à partir de fruits.

Le premier accident (1993) a provoqué le rejet de vapeurs nitreuses dans l'environnement après la rupture d'un disque du réacteur. Une erreur humaine d'envoi manuel d'un excès d'acide nitrique dans la cuve de pectine contenant de l'alcool est à l'origine du défaut, ce qui a provoqué une réaction exothermique. Le passage en mode manuel a inhibé les points de contrôle informatique sur le tableau de bord. Il a par la suite été interdit de passer en mode manuel, les procédures de sécurité ont été renforcées, et la fermeture automatique des vannes a été mise en place

Le second accident (2013) a concerné la sonde de température de l'air de sortie du séchoir où sont séchées des pommes pour extraire la pectine. Le contremaître a sorti la sonde ce qui a bloqué la ventilation et provoqué une lente combustion des poussières du conduit de sortie de l'air. La mesure

corrective directe apportée a été de bloquer l'emplacement de la sonde, puis à plus long terme une communication accrue et une réduction des poussières du conduit.

2.3 Objectifs

L'existence d'accidents relatifs à l'extraction de la pectine nous montre que les risques sont toujours présents, même aujourd'hui avec les technologies de surveillances automatisées. L'impact de l'homme est non négligeable et présente un risque important. L'objectif de l'étude est de caractériser les risques du procédé, d'en déduire un plan de prévention adapté et chiffré afin d'éviter ou maîtriser ces dangers en amont du lancement de l'industrialisation du produit.

3 METHODES UTILISEES

Le procédé de fabrication, sur lequel porte l'analyse des risques, met en jeu une hydrolyse des peaux d'orange afin d'en extraire la pectine, puis la succession des étapes de gélification, pressage et séchage permet d'obtenir la pectine sous forme de granulés (Figure 1).

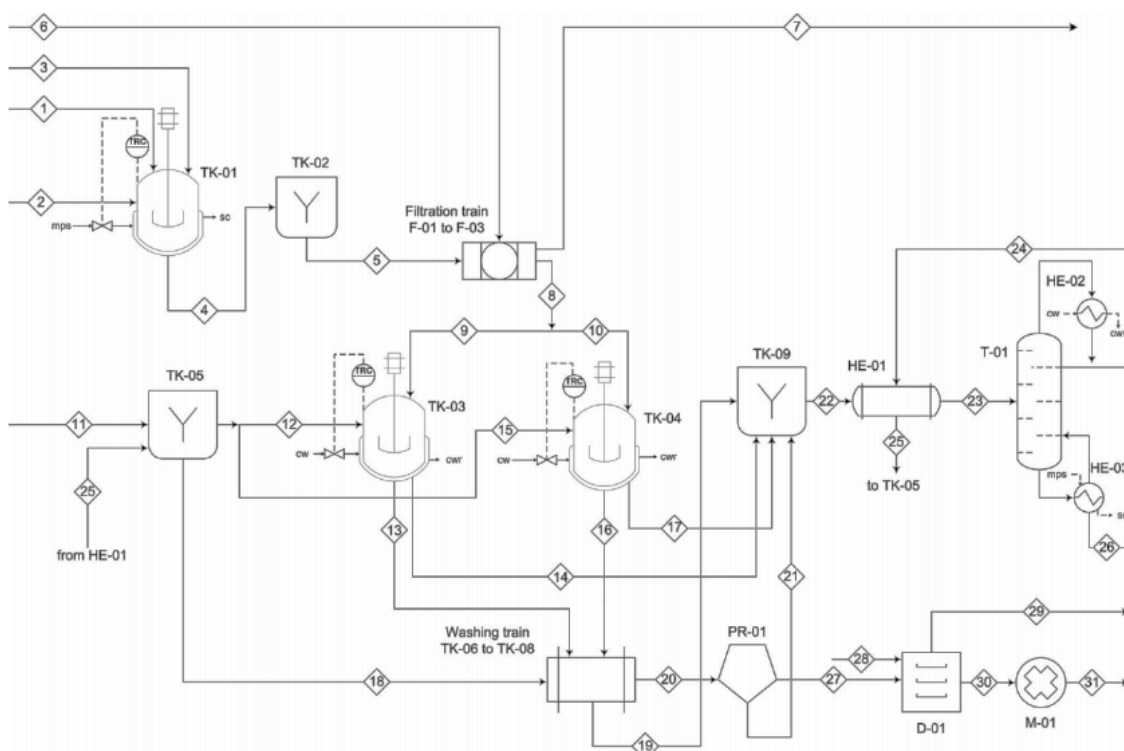


Figure 1: Flowsheet du procédé d'extraction de la pectine des peaux d'oranges [2]. Flux (1) acide citrique; (2) eau; (3) eau, solides, pectine; (4) flux sortant tank1; (5) flux sortant tank 2; (6) terre diatomée; (7) retentat de filtration; (8) perméat de filtration; (9)(10) flux 8 divisé en 2; (11) éthanol 94%; (12) éthanol 86%; (13) sortie tank 3; (14) alimentation tank recyclage éthanol; (15) éthanol 86%; (16) sortie pectine tank 4; (17) éthanol tank 4 pour recyclage ; (18) éthanol pour lavage pectine; (19) recyclage éthanol; (20) entrée pectine dans presse; (21) recyclage éthanol presse; (22) entrée dans échangeur chaleur; (23) entrée sur colonne distillation; (24) reflux éthanol; (25) recyclage éthanol; (26) reflux eau; (27) entrée sur le séchoir; (28) air; (29) sortie air; (30) entrée sur le Hammer Mill; (31) pectine pressée

Le choix de l'HAZOP s'est avéré évident dans la mesure où l'analyse des risques porte sur un procédé de production qui peut être apparenté à une industrie chimique car utilise de fortes quantités d'acide. D'autre part, notre produit concernant l'industrie agro-alimentaire, nous nous sommes inspirés de l'HACCP, pour repérer les risques sanitaires et microbiologiques à inclure dans notre étude. Notre méthode possède en effet l'avantage d'être la plus adaptée et la plus précise pour tenir compte des défaillances machines et humaines inhérentes à la production [5].

3.1 APR

Selon la norme CEI-300-3-9 : l'analyse préliminaire des risques (APR) « est une technique d'identification et d'analyse de la fréquence du danger qui peut être utilisée lors des phases amont de la conception pour identifier les dangers et évaluer leur criticité » [8]. L'APR délimite le périmètre du système ce qui justifie son utilisation en début de travail. Elle permet de repérer rapidement les plus gros dangers mais n'entre pas dans le détail. Elle est mise à jour tout au long de la vie du système afin de maîtriser les points critiques ainsi que la production. Nous avons appliqué cette méthode sous la forme d'un tableau dont les composantes sont décrites dans le Tableau II et un extrait appliqué au procédé est présenté dans la partie *Résultats*.

Tableau II: Description des composantes de l'APR

Numéro de l'équipement	Produit ou équipement	Situation de danger	Causes	Conséquences	Sécurité existante	Proposition d'amélioration	Observations
Selon plan d'usine	Dénomination courante	Le danger encouru	Ce qui peut déclencher la situation de danger	Ce qui va se passer après l'apparition du danger	Moyens préventifs mis en place	Autres sécurités envisageables	Actions à réaliser pour empêcher la cause du danger

3.2 Checklist

Suite aux résultats de l'APR (voir partie *Résultats*) nous choisissons d'appliquer une Checklist sur la cuve TK01. La checklist consiste à établir la liste de tous les dangers associés à chaque élément du système choisi c'est-à-dire : l'acide citrique, les peaux d'oranges, la cuve TK01 et le contrôle de la température dans notre étude. Cette étape est très utile pour préparer l'HAZOP car elle permet de dégager tous les paramètres à risques du système. Un aperçu est disponible dans la partie *Résultats* et recense les risques et situations de dangers par équipement ainsi que les moyens de sécurité et précautions d'emploi d'usage.

3.3 HAZOP

L'Hazard and Operability studies (HAZOP) consiste à décomposer le système en plusieurs parties appelées « nœuds » pour identifier et analyser les risques possibles pour les opérateurs, les équipements, l'environnement. L'objectif est de détecter les risques les plus évidents mais aussi les plus discrets. Cette méthodologie [5] [9] peut être divisée en quatre phases que nous avons appliquées au « nœud » du premier mélangeur :

- Délimiter le périmètre d'application et le diviser en différents sous-systèmes,
- Dégager les différents paramètres de notre système, auxquels nous associons des mots-clés qui sont représentatifs des types de déviations possibles,
- Identifier les causes possibles et les conséquences potentielles, émettre des recommandations d'actions correctives à mettre en œuvre en cas d'apparition de la dérive, ou des recommandations d'actions d'amélioration à mettre en place sur les outils de prévention déjà existants pour le court ou long terme,
- Associer une fréquence (d'après le PurpleBook [10] [11]), une probabilité et une gravité à chaque dérive. Ces paramètres sont revus après la mise en place des barrières correctives et préventives afin de déterminer l'efficacité du système de gestion des risques.

Cette partie est celle qui nécessite la plus longue période de travail du projet de gestion des risques. Nous avons modifié l'échelle des classes de probabilités définies par les normes CEI 61882:2001 « étude des dangers et exploitabilité » et ISO 31010:2009 « technique d'évaluation des risques » car cette dernière est trop éloignée de notre type d'installation (non SEVESO). En effet,

l'échelle réglementaire ne tient pas compte des événements peu dangereux pouvant arriver plusieurs fois par mois. Nous avons donc créé l'échelle de probabilité présentée par le Tableau III.

Tableau III: Nouvelle échelle des classes de probabilités

Description	Niveau	Définition
Evènement extrêmement rare	1	1 cas tous les 10 ans et plus
Evènement rare	2	1 cas tous les 5 ans
Evènement probable	3	1 cas par an
Evènement occasionnel	4	Plusieurs fois par un
Evènement courant	5	Tous les mois

L'échelle étant modifiée, il nous a également fallu changer la grille d'acceptabilité du risque (Tableau IV). Cette nouvelle grille a été construite de manière à respecter les relations Fréquence-Gravité. Nous avons gardé les mêmes appellations que le Code de l'Environnement, à savoir L = Low, niveau bas, M= Medium, risque modéré, et H= High, risque élevé. Plus nous nous approchons du niveau High, plus le risque devient inacceptable et plus la nécessité de prendre des mesures préventives et/ou correctives est primordiale. Un risque de faible gravité mais de fréquence élevée ne sera effectivement pas traité de la même manière qu'un risque à faible probabilité d'apparition mais aux conséquences importantes.

Tableau IV: Nouvelle grille d'acceptabilité du risque créée

Gravité	5	M	M	H	H	H
	4	M	M	H	H	H
	3	L	M	M	H	H
	2	L	L	M	M	H
	1	L	L	L	M	M
		1	2	3	4	5
Fréquence						

4 EXPERIMENTATION

La mise en place d'une équipe multidisciplinaire dès la conception d'un projet s'avère être le moyen le plus efficace pour réduire les risques liés à tout procédé. Notre groupe de travail formé pour gérer les risques occasionnés par le procédé semi-continu d'extraction de pectine est composé de cinq personnes aux compétences spécifiques et transversales acquises au cours de leurs expériences professionnelles, études et connaissances personnelles. Dès le commencement du projet, le responsable a mis en place un planning de réunion adapté à l'échéance du livrable et échelonné dans le temps. Préalablement à chacune de ces réunions planifiées, le thème abordé et les objectifs étaient clairement définis et connus des participants afin que chacun puisse s'y préparer. Dans l'objectif de maintenir une productivité constante pendant les réunions, ces dernières étaient structurées et dirigées par l'animateur et n'excédaient pas une durée d'une heure et quinze minutes. Cet animateur a pour fonction principale de rappeler les objectifs en début de réunion et de dérouler la méthodologie préalablement décrite. L'animateur est ainsi responsable du brainstorming réalisé par tous les participants, de l'efficacité du travail fourni, de la gestion du temps et de l'atteinte des objectifs fixés. Cette procédure de travail a permis de mener une réflexion approfondie de gestion des risques, d'obtenir des documents à la fois exhaustifs et pertinents pour la mise en place du plan de prévention et de respecter les délais du projet.

5 RESULTATS

5.1 APR

Le brainstorming réalisé par le groupe de travail en début de projet a permis d'identifier plusieurs équipements présentant un nombre important de situations de danger. Un extrait de l'APR est présenté dans le Tableau V et l'analyse effectuée est résumée dans le Tableau VI.

Tableau V: Extrait de l'APR réalisée sur l'ensemble du procédé

N°	Produit ou équipement	Situation de danger	Causes	Conséquences	Sécurité existante	Proposition d'amélioration	Observations
	Tuyauterie	Bouchon	Accumulation de produit	Problème de débit	Débitmètre	Vérification régulière	Vérifier les pompes
				Problème de pression	manomètre, bypass, maintenance tuyauterie	Vérification régulière	Débit relié à la P, si un est vérifié, pas besoin du second
		Biofilm	Multiplication bactérienne	Contamination de l'eau	Analyse de l'eau	Tests de coloration si suspicion du biofilm, traitement de l'eau en amont si nécessaire	/
		Fuite	Défaut sur le tuyau / corrosion	Risque de glisse pour les opérateurs	Formation du personnel	Amélioration de la formation du personnel	/
				Problème de pression	Manomètre	Vérification régulière	/
				Perte de produit	Maintenance de la tuyauterie	Mise en place planning de maintenance	/

Tableau VI: Résultats de l'APR répertoriant le nombre et le type de risque identifié par équipement présentant un nombre important de danger du procédé d'extraction de pectine à partir de peaux d'oranges

Équipement	Tank 01	Tank 03/04	Colonne de distillation	Filtration	Séchage
Nombre de situations de danger identifiées	9	9	9	5	5
Nature de danger encouru	Chimique, Blessure, Arrêt de production	Blessure, Altération du produit	Explosion, Altération du recyclage	Blessure, Altération du produit	Blessure, altération du produit

L'équipement Tank 01 est perçu comme l'élément le plus dangereux du procédé. En effet, le nombre de situations de danger identifiées est le plus élevé et la nature des dangers est préoccupante voir critique puisque un type de danger concerne la santé du personnel. Nous avons ainsi choisi de poursuivre l'analyse des risques sur la cuve d'hydrolyse acide (TK 01).

5.2 Checklist

Le Tableau ci-dessous présente un extrait de la checklist appliqué à la cuve d'hydrolyse acide (TK 01). Cette checklist permet de mettre en valeur la dangerosité de l'acide citrique vis à vis de l'homme grâce à sa Fiche de Données Sécurité notamment. Elle démontre également l'importance des risques occasionnés par des incidents de production tels que des débits anormaux, sondes ou régulations défectueuses. Ces indications sont primordiales pour réfléchir dès le début du projet à des solutions adaptées comme la conformité des locaux en termes de ventilation et stockage, à l'organisation d'une bonne maintenance et métrologie. Ces points sont par ailleurs essentiels pour le chiffrage du projet.

Tableau VII: Extrait de la Checklist réalisée sur le premier mélangeur TK01 d'après la Fiche de Données Sécurité de l'acide citrique [12]

Produit / Equipement	Risque, situation de danger	Précautions d'emploi/de sécurité
Acide citrique	- Contact avec la peau	Retirer les vêtements souillés et laver immédiatement et abondamment la peau à l'eau et au savon pendant 10 à 15 minutes. Si une irritation apparaît ou si la contamination est étendue et prolongée, consulter un médecin
	- Inhalation	Amener la victime à l'air libre. Si la respiration est irrégulière ou arrêtée, pratiquer la respiration artificielle et faire appel à un médecin. Si la personne est inconsciente, placer en position latérale de sécurité et appeler une ambulance médicalisée. En cas de troubles, consulter un médecin
	- Contact avec les yeux	Laver immédiatement et abondamment à l'eau froide pendant 10 à 15 minutes en maintenant les paupières ouvertes. En cas de port de lentilles de contact, enlever les lentilles et continuer le rinçage des yeux. Protéger ensuite les yeux avec une gaze ou un mouchoir propre et sec. Si l'irritation persiste, consulter un ophtalmologiste
	- Ingestion	Rincer soigneusement la bouche. NE PAS tenter de faire vomir, NE PAS faire boire. Garder au repos. Consulter un médecin et lui montrer l'étiquette
	- Vapeurs se dégageant dans de l'eau	
	- Eau d'extinction se mélangeant dans les eaux superficielles ou dans la nappe phréatique	

5.3 HAZOP

Après avoir sélectionné l'équipement le plus à risques et avoir listé les principales situations de dangers associées, l'HAZOP est envisagée. Toutes les étapes précédentes ont servi à préparer au mieux cet outil afin de rendre l'HAZOP la plus exhaustive et réaliste. Le Tableau VIII présente un extrait de l'HAZOP réalisée par le groupe de travail.

Le nœud identifié pour l'HAZOP est le premier réacteur où les matières premières sont mélangées. C'est l'une des étapes les plus critiques car le mélange se fait en présence d'acide citrique pur et à température élevée (90°C). Les éventuels dangers pour les opérateurs sont non négligeables ainsi que le risque d'arrêt de production puisque cette cuve est unique pour toute la ligne. Tous les risques inhérents au procédé sont identifiés, répertoriés et classés. Avant la mise en place des barrières, 20 risques ont été classés "medium" et 25 au niveau "low".

Tableau VIII: Extrait de l'HAZOP réalisée. PFD: Probabilité Fréquence de Défaillance; G: Gravité; P: Probabilité d'occurrence; N: Niveau; L: niveau Low; M: niveau medium

Appareil, opérations	Déviation origine de l'évènement	Causes nécessaires indépendantes	PFD appareil /an	Evènement redouté (conséquences, effets, dangers)	Risque potentiel			Barrières préventives		Barrières protectives		Risque résiduel			Actions	Défaillance machine ou humaine / an
					G	P	N	PFD		PFD	G	P	N			
Température	trop haute	mauvaise mesure du TRC	0,1	réaction chimique altérée, problème de refroidissement en aval, risque d'ébullition, mauvais rendement, surchauffe, détérioration résistance, brulure, perte énergétique	1	4	M	calibrage et étalonnage de la sonde régulière, supervision, nettoyage de la sonde	0,01	/	/	1	3	L	la sonde devra réguler le transfert de chaleur	0,001
		résistance chauffante défaillante	/		3	2	M	TRC, supervision, maintenance	0,1	EPI	/	2	2	L	calibrage sonde	0,1
		isolation cuve défectueuse	/		2	2	L	/	/	EPI	/	1	2	L	/	0
		sonde température cuve défaillante	1		2	3	M	TRC, supervision, maintenance	0,1	EPI	/	2	2	L	calibrage sonde	0,1
		excès de chauffage	0,1		1	3	L	maintenance	1	EPI	/	1	3	L	/	0,1

L'objectif est maintenant de réaliser un plan de prévention adapté permettant de supprimer ou limiter les dangers.

5.4 Plan de prévention

Le plan de prévention est assimilable à un plan d'action. Il indique les mesures diverses et variées à mettre en place pour réduire les risques liés au procédé.

5.4.1 Réduction des risques pour l'homme

Le moyen le plus efficace pour réduire les risques, aussi bien occasionnés qu'encourus par les hommes travaillant sur le procédé, est d'accroître leurs acquis dans tous les domaines : connaissances des lois, des réglementations, des règles de l'entreprise, de la politique qualité de l'entreprise, des procédures et enregistrements. Pour aboutir à ces objectifs, des actions simples ont été définies et résumées dans le Tableau IX.

Tableau IX: Définition des actions du plan de prévention visant à réduire les risques pour l'homme

Action de prévention	Descriptif de l'action	Objectifs
Fiche de poste	<ul style="list-style-type: none"> - Description du poste - Description des missions - Description des compétences requises - Description des relations hiérarchiques 	<ul style="list-style-type: none"> - Communication entre l'employeur et l'employé - Définition des objectifs - Réalisation de bilan de compétences
Livret de sécurité	<ul style="list-style-type: none"> - Descriptif des règles, obligations, interdictions vis-à-vis de l'activité - Définition des points de sécurité, faire connaître l'infirmerie et les sauveteurs secouriste du travail 	<ul style="list-style-type: none"> - Garantir les connaissances de bases en termes de politique sécurité de l'entreprise - Permettre au lecteur de savoir réagir en cas d'incidents tels qu'un incendie
Équipements de protection individuelle et bonnes pratiques d'hygiène	<ul style="list-style-type: none"> - Équipements de protection obligatoires et disponibles pour tous les employés - Respect des bonnes pratiques 	<ul style="list-style-type: none"> - Garantir la sécurité physique des employés et du produit
Procédures	Définition de la succession d'étapes à mettre en œuvre pour parvenir à un objectif	<ul style="list-style-type: none"> - Garantir la reproductibilité des actions menées et des bonnes pratiques - Comprendre les actions à réaliser - Réduire les risques d'erreurs humaines par une disponibilité constante par tous
Plan de formation	<ul style="list-style-type: none"> - Présentation des formations proposées - Évaluation des formations 	<ul style="list-style-type: none"> - Accroître les compétences et connaissances

5.4.2 Réduction des risques pour l'environnement

L'environnement étant un aspect primordial de la gestion des risques, des actions doivent également être prises pour supprimer les risques encourus. Pour ce faire, un travail, dès la conception, permet de mettre en place et de dimensionner une filière de traitement de la pollution accidentelle. Dans notre cas, nous avons opté pour un traitement des effluents de type physico-chimique : l'oxydation par ozonation. Cette méthode répond parfaitement à nos objectifs par le large spectre de molécules traitables et la facilité de dépolluer un volume d'effluent inattendu. En effet, en cas d'incident technique, l'effluent est collecté dans un bac de rétention de contenance au moins équivalente à celle de la cuve puis est relevé par une pompe mobile vers l'unité d'ozonation pour subir le traitement de dépollution.

5.4.3 Réduction des risques mécaniques

Afin de réduire les risques mécaniques liés à des problèmes techniques, nous avons déterminé des actions simples réalisées par les ouvriers de production ou de maintenance. Ces actions sont essentielles afin de maintenir les équipements en état d'effectuer les fonctions pour lesquelles ils sont destinés. Le Tableau X résume les pratiques identifiées.

Tableau X: Définition des actions du plan de prévention visant à réduire les risques mécaniques

Plan de prévention des risques mécaniques	Actions du plan	Fréquence
Plan métrologique	- Calibration - Étalonnage	- Hebdomadaire - Au moins une fois par jour
Plan de nettoyage	- Nettoyage simplifié - Nettoyage en place	- Chaque changement de lot de produit fini - Deux fois par semaine
Plan de maintenance préventif/correctif	Entretien et remplacement des pièces	Selon les recommandations des fournisseurs

Ces actions à faibles coûts présentent les avantages de responsabiliser, d'intégrer et de faire participer les opérateurs à la politique de gestion des risques.

5.4.4 Estimation du coût du plan de prévention

Afin d'évaluer notre plan de prévention en termes de faisabilité économique nous avons établi le chiffrage de ce dernier. La 1ère année les coûts estimés sont de l'ordre de 42 000€. Ils prennent en compte l'achat de matériels, tels que les appareils de métrologie, le groupe électrogène ou encore les utilités qui ne sont pas renouvelés tous les ans : c'est un investissement sur le long terme. En revanche une part du budget est à renouveler annuellement car certains équipements sont obligatoires. Dès lors, la 2ème année les coûts associés à la sécurité et à la mise en place du plan de prévention ne s'élèvent plus qu'à 18 000€. En fonction de la politique sécuritaire de l'entreprise et du budget alloué, le coût pourra être adapté en fonction des cotations de l'HAZOP. Il est ainsi possible, au démarrage, d'établir des priorités et de répartir les investissements moins critiques sur plusieurs années. Mais cela ne doit en aucun cas mettre en danger la sécurité du personnel, les coûts liés aux EPI sont donc inévitables.

Après l'établissement du plan de prévention, la nouvelle cotation des risques de l'HAZOP a fortement diminuée. En effet, uniquement 4 risques restent cotés "medium" pour 41 risques cotés "low". Cette forte diminution témoigne de l'efficacité des actions retenues. Les risques qui persistent sont liés à l'usure naturelle des matériaux et des pannes mécaniques qui pourraient en découler.

6 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Le travail effectué en termes de sécurité et de gestion des risques appliqués à un procédé d'extraction de pectine à partir de peaux d'oranges peut être découpé en deux grandes étapes : l'analyse de risques et le plan de prévention associé. Le couplage des méthodes APR/checklist/HAZOP se révèle être un outil puissant de gestion des risques pour les industriels. La mise en place de ces méthodes dès le début d'un projet permet de choisir les équipements les plus adaptés, d'identifier et dimensionner les techniques de dépollution et estimer le budget nécessaire et indispensable à la sécurité des Hommes et de l'environnement. La méthodologie utilisée ici est, bien entendu, à étendre sur toutes les étapes du procédé. Elle peut s'appliquer à d'autres industries, et ne peut se montrer spécifique au domaine étudié qu'en l'adaptant avec l'aide et le retour d'expérience des experts. L'anticipation des dangers et la gestion de ceux-ci entre dans une démarche d'innovation et d'amélioration continue depuis la conception du produit à sa réalisation finale.

REFERENCES

- [1] DREAL Franche Comté, «Introduction au risque industriel,» 2008.
- [2] D. Casas-Orozco, A. Luz Villa, F. Bustamante et L.-M. Gonzalez, «Process development and simulation of pectin extraction from orange peels,» *Food and Bioprocess Technology*, n° 196, pp. 86-98, 2015.
- [3] T. Leroux, «L'émergence du risque industriel (France, Grande-Bretagne, XVIIIe - XIXe siècle),» *Le mouvement social*, n° 1249, p. 246, avril 2014.
- [4] A.-L. Gauthier, «Inventaire 2015 des accidents technologiques,» Paris, 2015.
- [5] M. Royer, «HAZOP: une méthode d'analyse des risques,» *Techniques de l'ingénieur*, 10 avril 2009.
- [6] BARPI, «Base de données ARIA - État au 30/04/2013 Accidents liés à des mélanges de produits incompatibles,» Lyon, 2013.
- [7] BARPI DREAL RHONES-ALPES, «Résultats de recherche d'accidents sur la base ARIA,» Lyon, 2015.
- [8] A. Talon, «Analyse de risques : Identification et estimation : Démarches d'analyse de risques - Méthodes qualitatives d'analyse de risques,» Mars 2009. [En ligne]. Available: http://www.unit.eu/cours/cyberriques/etage_3_aurelie/co/Etage_3_synthese_web.html.
- [9] L. Fagot et W. Boucharel, «Analyse des risques,» UTC, 1999. [En ligne]. Available: http://www.utc.fr/~farges/gbm_et_qualite/outils/analyse_risques.htm. [Accès le 10 12 2015].
- [10] Committee for the Prevention of Disasters, «Guidelines for quantitative risk assessment,» La Hague, 1999.
- [11] C. Forest, Prestation pour l'Administration - Avis sur l'utilisation des données quantifiées du Purple Book, INERIS, Éd., Paris, 2007.
- [12] Sigma-Aldrich, «Fiche de données de sécurité,» 2015.