DOSSIERS TECHNIQUES #1-4

QU'EST-CE QUI FAIT EXACTEMENT UNE DÉFENSE DE HAUTE QUALITÉ?

COMPOSITION. MÉLANGE. FABRICATION ET DURCISSEMENT. TESTS.



SHIBATAFENDERTEAM

on the safe side

Sommaire.

1 COMPOSITION. UNE ROUTE SINUEUSE

Dossiers Techniques de SFT 04

Dossiers Techniques de SFT – #1 05

A. Composés en caoutchouc – Le diable est dans les détails 06

B. Noir de carbone – Essentiel dans les mesures 07

C. Carbonate de calcium – Mieux que sa réputation 09

D. Le bon composé – Une route sinueuse 10

Le Groupe ShibataFenderTeam 12

2 MÉLANGE. PROCESSUS ÉTAPE PAR ÉTAPE

Dossiers Techniques de SFT 14

Dossiers Techniques de SFT – #2 15

A. La composition des ingrédients – Des choix fondamentaux 17

B. La mastication du caoutchouc – Une préparation cruciale 18

C. L'équipement de mélangeage – L'efficacité du travail d'équipe avec la machine 19

D. La mise en feuille – Créer l'uniformité 21

E. Le mélange-maître – Tout sur les additifs 22

F. La finalisation – Une pointe de soufre 23

Conclusion 24

Le Groupe ShibataFenderTeam 25

3 FABRICATION ET DURCISSEMENT. PERFECTION AVANCÉE

Dossiers Techniques de SFT 27

Dossiers Techniques de SFT – #3 28

A. Pression, température et durée 28

B. Fabrication – Quand la magie opère 30

Méthodes de fabrication 31

C. Durcissement – La métamorphose du caoutchouc. 32

Méthodes de durcissement 33

Conclusion 35

Le Groupe ShibataFenderTeam 35

4 TESTS. UNE APPROCHE FONDEE SUR LES MEILLEURES PRATIQUES

Dossiers Techniques de SFT 38

Dossiers Techniques de SFT – #4 38

A. Aperçu des différentes méthodes de test 39

Tests fondamentaux 39

Tests de durabilité 39

Tests d'homologation de type 40

Tests de vérification 40

B. Tests de vérification – Les détails 41

Tests des matériaux 41

Traçabilité 42

Tests de performance 43

Vérification des dimensions 46

Contrôle visuel 46

Guide des meilleures pratiques de SFT pour les questions fréquemment posées. 46

C. Informations supplémentaires – Défenses en mousse, défenses pneumatiques et boucliers en acier 47

Conclusion 49

Le Groupe ShibataFenderTeam 49

DOSSIER TECHNIQUE #1

COMPOSITION.

UNE ROUTE SINUEUSE



SHIBATAFENDERTEAM

on the safe side

Sommaire.

Dossiers Techniques de SFT 04

Dossiers Techniques de SFT – #1 05

A. Composés en caoutchouc – Le diable est dans les détails . 06

B. Noir de carbone – Essentiel dans les mesures 07

C. Carbonate de calcium – Mieux que sa réputation 09

D. Le bon composé – Une route sinueuse 10

Le Groupe ShibataFenderTeam 12

Résumé analytique.

Le premier Dossier Technique de SFT sur la conception des défenses expose les grandes lignes des considérations à prendre en compte pour déterminer ce qui fait une bonne défense. Elle se concentre sur les matières premières utilisées dans la production de caoutchouc, les propriétés physiques d'une défense, ainsi que leur corrélation avec la composition des composés.

Il existe des normes et lignes directrices internationales apportant des conseils sur les propriétés physiques des défenses en caoutchouc – comme AIPCN2002 et ASTM D2000. Cependant, il n'existe pas de norme internationale spécifiant la composition chimique du composé de caoutchouc utilisé dans la conception des défenses en caoutchouc.

Le rapport montre que, dans la conception des défenses, les propriétés physiques sont le seul indicateur fiable de la qualité d'un composé de caoutchouc qui soit défini par les normes internationales. De plus, il recommande que les ratios entre additifs et agents de renforcement tels que le noir de carbone, le carbonate de calcium et la silice soient déterminés par des spécialistes ayant une profonde connaissance des matériaux, puisque la quantité et la taille des particules influencent grandement le composé ainsi que ses performances et sa durabilité. Le rapport attire également l'attention sur le fait que les composés de caoutchouc mélangés correctement avec du carbonate de calcium par des fabricants expérimentés respectent et surpassent les normes de test internationales.

Dossiers Techniques de SFT.

Sécurité, fiabilité, durabilité : les exigences de performance d'une défense se réduisent à ces trois aspects, et à juste titre. **Les défenses sont conçues pour créer un environnement sûr pour les bateaux et les passagers tout en protégeant les infrastructures portuaires et toutes les personnes y travaillant – fiabilité pendant la durée de vie de calcul et au-delà.** C'est l'idéal auquel les ports et les opérateurs portuaires aspirent.

Dans cet esprit, les quatre Dossiers Techniques de SFT visent à fournir une vue non biaisée de ce qui fait précisément une défense de qualité – des matériaux bruts au processus de conception.

Le Dossier Technique #1 aborde cette question en examinant les composants constituant une défense et leur rôle pour déterminer les propriétés physiques liées aux performances. Les Dossiers #2 et #3 détaillent les processus de mélange et de séchage impliqués dans la production d'une défense en caoutchouc de haute qualité. Le Dossier #4 conclut la série avec un rapport détaillé sur le test.



Dossiers Techniques de SFT :
#1 Composition | #2 Mélange | #3 Séchage | #4 Test

Dossiers Techniques de SFT – #1.

Le cœur de toute défense étant constitué d'un composé de caoutchouc renforcé, le premier Dossier Technique de SFT sur la conception de défenses porte sur les matières premières utilisées dans la production de caoutchouc, les propriétés physiques d'une défense, et leur corrélation avec la composition des composés. Son objectif est de détailler les considérations à prendre en compte pour déterminer ce qui fait une bonne défense.

Pourtant, aussi simple que cela puisse paraître, lors de la prise en compte des caractéristiques du produit requises pour de telles performances, certains éclaircissements sont nécessaires. Il existe des normes et lignes directives internationales, comme AIPCN2002, ASTM D2000, EAU 2004, ROM 2.0-11 (2012) ou BS6349 (2014), qui garantissent que les défenses se comportent comme prévu lorsqu'elles sont installées au poste d'accostage.

Ces normes apportent des conseils sur les propriétés physiques des défenses en caoutchouc, entre autres sur



Défenses Tronconiques SPC | Ijumuiden | Pays-Bas

la compression rémanente, l'élongation à la rupture et la résistance à la traction. **Il n'existe cependant pas de norme internationale spécifiant la composition chimique du composé de caoutchouc utilisé dans la conception des défenses en caoutchouc.**

En d'autres termes, il existe des normes industrielles définissant un objectif clair dans la conception des défenses maritimes, leurs performances, leurs propriétés physiques et leur durabilité, mais aucune recommandation quant aux moyens d'y parvenir. La raison à cela est simple : aucun projet de défense ni fabricant de défense n'est semblable à un autre. Chaque projet a des besoins uniques qui nécessitent des compositions de caoutchouc personnalisées. De plus, tous les polymères utilisés dans la production de défense ne sont pas pareillement disponibles dans toutes les parties du monde, ce qui oblige les fabricants à ajuster leurs composés de caoutchouc en fonction.

Tout ceci laisse beaucoup de place à la différenciation du marché et de possibilités aux fabricants de défense pour présenter leurs propres approches de meilleure pratique afin de créer des produits de haute performance. Pourtant, c'est également devenu le terrain fertile pour certaines idées fausses largement acceptées, et activement défendues par certaines parties prenantes, sur la production de composés, la plus tenace étant que la qualité d'une défense est essentiellement déterminée par la composition chimique de ses composés de caoutchouc.

Au sein du groupe ShibataFenderTeam (SFT), nous croyons que la qualité d'une défense doit être mesurée au vu de ses performances, c.-à-d. par le degré auquel une défense est à la hauteur des besoins de son champ spécifique d'application.

Le dossier technique a été conçu en tirant parti de l'expertise du Deutsches Institut für Kautschuktechnologie e.V. (DIK), un institut de recherche indépendant allemand spécialisé dans les matériaux polymères et la technologie du caoutchouc, et des représentants ASTM, ainsi que des précédentes discussions menées par des spécialistes des composants en polymère de l'Université de Gdansk, en Pologne.

A. Composants en caoutchouc – Le diable est dans les détails.

Typiquement, les défenses en caoutchouc sont fabriquées à partir d'un mélange de polymères, par ex. caoutchouc naturel et caoutchouc synthétique, avec des additifs tels que le noir de carbone, le carbonate de calcium et d'autres additifs pour apporter du renfort et une capacité de traitement. **Bien qu'il y ait un consensus général dans l'industrie sur la plupart des composants utilisés dans la production de défenses, les avis sur la qualité des ingrédients et leur ratio divergent largement d'un fabricant à l'autre - certains essayant de généraliser leur opinion sur la composition chimique des composés de caoutchouc comme véritable indicateur de qualité du produit fini.** Une fausse idée répandue prétend que la teneur des composants respectifs dans le composé de caoutchouc détermine sa qualité. Dans ce qui suit, nous nous pencherons avec attention sur les composants constituant un composé de caoutchouc et leurs corrélations.



Matière brute en caoutchouc

Le caoutchouc naturel se présente sous la forme du latex provenant de l'arbre à caoutchouc (Hevea brasiliensis) dans une zone située à 15° Nord et Sud de l'Équateur, l'Asie du Sud-Est en étant le principal producteur mondial. Environ 40 % de la consommation mondiale de caoutchouc concerne le caoutchouc naturel qui est commercialisé sous forme de matière première sur les marchés boursiers. La limitation géographique de la disponibilité du caoutchouc naturel et sa pénurie au début du XXe siècle a entraîné le développement de caoutchoucs synthétiques dans d'autres régions du monde. Les plus connus et fréquemment utilisés sont le caoutchouc styrène-butadiène (SBR), le caoutchouc monomère d'éthylène propylène diénique (EPDM) ou le néoprène. Parmi tous les caoutchoucs synthétiques, le SBR est le plus fréquemment utilisé pour les composés de défense.
Le SBR est un copolymère de styrène et de butadiène qui peut être polymérisé dans tout ratio. Il s'agit d'un dérivé de sous-produits pétroliers dépendant du prix du pétrole brut et du caoutchouc naturel. Environ 60 % de la consommation mondiale de caoutchouc est à base de caoutchoucs synthétiques.

Les composés de caoutchouc naturel et uniquement de SBR diffèrent dans leurs caractéristiques ainsi que par leur impact sur la capacité de traitement du composant, les performances des défenses et leurs propriétés physiques.

Caoutchouc naturel (composés à 100 % de caoutchouc naturel)

+ bien renforcé par nature
+ rapport d'étirage large (élongation)
+ haute résilience
+ extrêmement étanche à l'eau

– modestes propriétés de vieillissement
– modeste résistance au pétrole
– sujet à la réversion (ainsi sensible à la vulcanisation)
– Sensible au vieillissement à l'ozone
– En tant que produit naturel et en raison du processus d'approvisionnement naturel, il contient des impuretés comme des protéines, de la cendre,* des saletés (feuilles, poussière)

* Roberts, A. D. (1990). Natural rubber science and technology. Oxford: Oxford University Press

Caoutchouc synthétique (composés à 100 % de SBR)

+ bonne résistance à l'abrasion
+ bonne stabilité pendant le vieillissement

– modeste résistance à la traction fondamentalement
– modeste résistance au vieillissement à la chaleur
– plus difficile à travailler

En comparaison, alors que le SBR à l'état pur est moins collant et a une densité et une température de transition vitreuse plus élevées que le caoutchouc naturel, il présente également un module et une résistance à la déchirure moindres et a besoin de renforts supplémentaires et d'une quan-

tité supérieure d'amollissants. Le caoutchouc naturel au contraire est bien renforcé dès le départ.

Ainsi, les composés de caoutchouc avec du caoutchouc naturel ou du SBR en tant que seul polymère ont de fortes limitations et l'industrie utilise donc généralement des mélanges de caoutchouc naturel et de SBR pour profiter des propriétés avantageuses des deux composés. Si les caractéristiques nécessitent des composés à 100 % de caoutchouc naturel ou de SBR, les rédacteurs de devis doivent s'assurer de bien connaître la nature problématique de ces matériaux, puisqu'une mauvaise approche ici pourrait mettre un poste d'accostage en danger et entraîner une réclamation en responsabilité substantielle pour le rédacteur de devis.

Le choix ainsi que la quantité de caoutchouc naturel ou de SBR dans le mélange déterminent la quantité des autres composants à ajouter pour améliorer les propriétés du composé, les plus connus étant le noir de carbone (CB) et le carbonate de calcium (CC). Le rapport de mélange des polymères avec ces composants définit la composition chimique du composé de caoutchouc. Détailler la relation proportionnelle entre tous les composants dans le composé a une valeur informative limitée par rapport à la qualité d'une défense. **Deux composés en caoutchouc peuvent différer dans leur composition chimique, mais toujours présenter des propriétés physiques qui respectent ou dépassent les conditions des normes internationales (voir également le tableau 2).** Néanmoins, il est devenu courant pour certaines parties prenantes des défenses d'arguer que la présence et la quantité des composants respectifs dans le composé servent d'indicateur de qualité. Un œil plus attentif sur les additifs CB et CC montre que de telles généralisations sont erronées.

B. Noir de carbone – Essentiel dans les mesures.

Le noir de carbone (CB) est un renfort bien établi pour les composés de caoutchouc disponible en différentes tailles de particules. Ses capacités dépendent non seulement de sa teneur dans le composé de caoutchouc, mais également sur

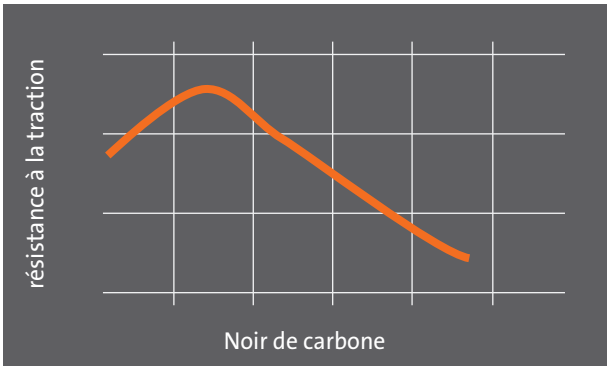


Figure 1 : Influence typique du CB sur la résistance à la traction dans les composés de caoutchouc naturel

sa qualité et la taille de ses particules. Ses effets peuvent être mieux mesurés en examinant le développement de la résistance à la traction en particulier lorsque la quantité de CB est progressivement augmentée. La Figure 1 illustre la façon dont la résistance à la traction du composé augmente en ajoutant du CB jusqu'à un point de rupture. Après avoir atteint ce stade critique, la résistance à la traction diminue, puisqu'il n'y a pas assez de caoutchouc restant pour disperser les particules de CB, signifiant que le composé est surchargé de CB.

Cet exemple étaie le fait que la quantité de CB est en effet importante, mais modérément et selon le caoutchouc utilisé, puisque le caoutchouc naturel nécessite moins de renfort que le SBR. En d'autres termes, lorsqu'il s'agit de la quantité de CB, plus n'est pas toujours synonyme de mieux. Ainsi, pour garantir la qualité du composé voulu, la concentration de CB doit être choisie avec attention à un stade précoce de la production, en gardant à l'esprit tous les facteurs importants.



Défense Pneumatique grise | Karlskrona | Suède

Il convient de remarquer que les défenses grises ne contiennent pas de CB du tout. Comme les défenses de remorqueurs pneumatiques grises et extrudées entrent un contact direct avec le navire, les utilisateurs finaux demandent qu'elles ne fassent pas de marque. Puisque l'ajout de CB entraînerait inévitablement un composé de caoutchouc noir, elles contiennent de la silice en renfort. Et pourtant elles se conforment aux mêmes normes de test rigoureuses que les défenses noires de haute durabilité prévues pour un cycle de vie de plus de 20 ans. **Cela montre à nouveau que la qualité d'une défense ne peut pas être déterminée par la quantité de CB dans son mélange de caoutchouc.**

La taille des particules de CB est un facteur d'influence pertinent dans la production de défenses, et fait l'objet de nombreuses discussions parmi les chercheurs. **Il a été montré que plus la taille des particules de CB est grande, plus le module du composé de caoutchouc est faible, un fait étayé par un grand nombre d'études et de tests.** Un faible module signifie que peu de force est requise pour étirer (allonger) un spécimen, ce qui est révélateur d'un composé de faible qualité. Les tests réalisés par Shibata Industrial au Japon montrent la façon dont le module dans les composés à base de caoutchouc naturel et de SBR uniquement, avec une dose constante de CB, change selon la taille des particules de la charge. En comparant les effets de l'utilisation du CB avec une taille de particules moyenne allant de 22 nm à 78 nm, le module de composé chutait significativement plus les particules devenaient grandes. Sur toute la plage de mesure, le module chutait d'environ 30 % avec des composés à 100 % de caoutchouc naturel et de près de 50 % avec des composés à 100 % de SBR (voir Figure 2), une différence montrant accessoirement un fait qui a été discuté plus tôt, que le caoutchouc naturel nécessite moins de renfort supplémentaire.

CLASSES DE CB	ISAF N220	HAF N330	FEF N550	GPF N660	SRF-LM
Taille moyenne des particules (nm)	22	28	45	66	78
Module à 300 % de caoutchouc naturel (MPa)	16.1	15.5	15.7	13.3	10.8
Module à 300 % de SBR (MPa)	10.3	9.7	8.8	6	5.4

Tableau 1 : Module par rapport à la classe de CB

En résumé, la qualité des composés ne peut pas être évaluée par leur teneur en CB. Les composés ne devraient ainsi pas être exclus des caractéristiques uniquement sur ces bases. Le ratio de composants du composé et la taille de particules de CB requise sont inévitablement liés aux performances et aux propriétés physiques voulues d'une défense. Un raisonnement similaire tient à l'usage du CC dans les composés de caoutchouc.

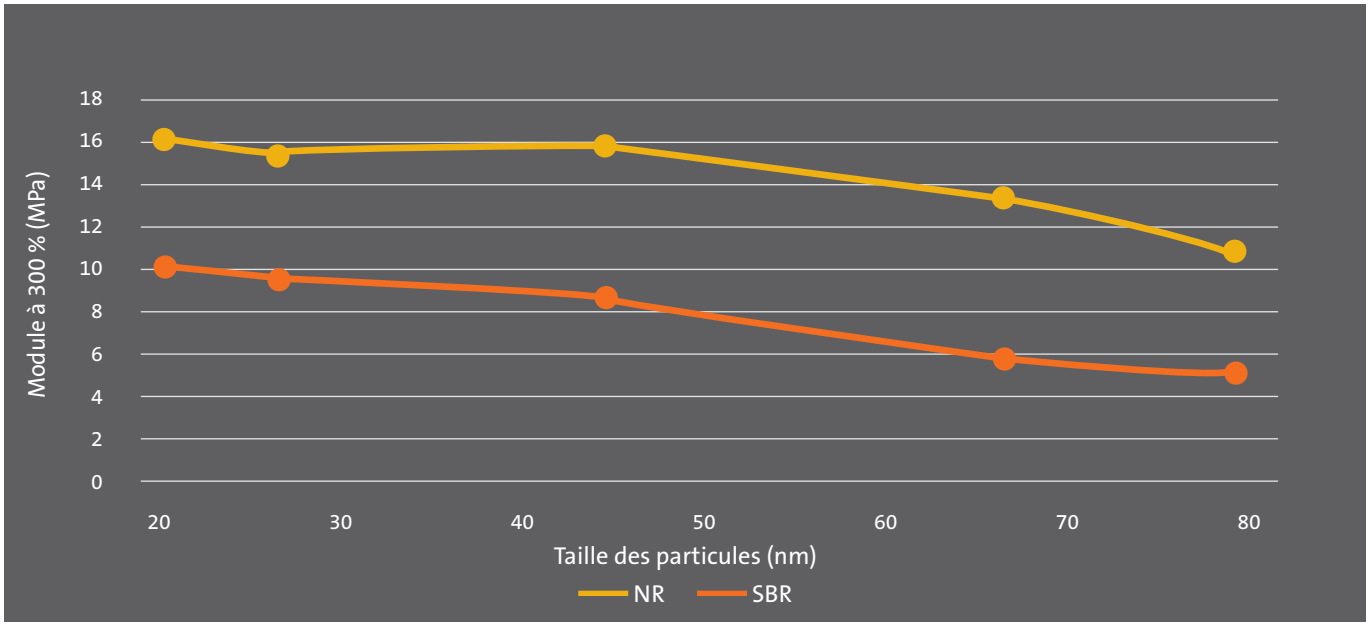


Figure 2: Module et taille des particules de CB (CB à 33%)

C. Carbonate de calcium – Mieux que sa réputation.

Hormis le CB, les produits de caoutchouc de haute qualité dans l'industrie et au-delà utilisent plusieurs autres additifs, dont le carbonate de calcium (CC) est le plus connu. Il existe deux types différents de CC : le CC naturel et le CC synthétique.

Les deux existent sous forme de poudre, même si les tailles de particules peuvent varier. Ajouter du CC augmente la capacité de traitement et améliore le comportement pendant la vulcanisation et les résultats de la compression rémanente. De même, la bonne quantité de CC synthétique en petites tailles de particules a un effet de renforcement prononcé.

Malgré ses avantages, le CC a plutôt mauvaise réputation sur le marché. Il est dit qu'il est un remplaçant à bas coût des polymères et qu'il entraîne une diminution des propriétés physiques ainsi qu'une réduction des performances et de la durabilité des composés en caoutchouc. Selon le cas, ces assertions peuvent être avérées, mais elles ne sont pourtant pas la pure vérité au sujet du CC.

Comme avec le CB, l'origine, la classe, la dispersion et surtout la taille des particules et la pureté du CC déterminent la façon dont la charge influence les propriétés physiques et la durabilité du composé de caoutchouc. Ainsi, il est impossible de généraliser en disant que le CC a uniquement des effets négatifs. Utilisé correctement, il aide à donner à un composé des propriétés physiques qui respectent voire dépassent les normes de test internationales pour les défenses en caoutchouc. Les experts ASTM et des autres instituts sont unanimes :

> *« Lorsqu'il s'agit de la composition de caoutchouc pour les défenses maritimes, il n'existe pas de norme par rapport à la composition chimique, puisque la qualité de ces défenses est déterminée par leur capacité à être à la hauteur des conditions de performances rigides de leur champ de fonctionnement. Par conséquent, les propriétés physiques du composé doivent être envisagées comme le seul indicateur fiable de la qualité de produit des défenses de caoutchouc. »*



Défenses Axiales CSS | Yamal | Russie

D. Le bon composé – Une route sinueuse.

En résumant ce que nous avons vu jusqu'à maintenant, le Tableau 2 illustre parfaitement que deux composés en caoutchouc peuvent avoir des compositions chimiques très différentes et pourtant posséder les propriétés physiques nécessaires pour se conformer aux critères de performances requises pour les défenses maritimes et ainsi respecter les normes internationales. Les raisons les plus importantes pour cela sont les différents besoins de renfort du caoutchouc naturel et du SBR. **Le choix de la base de caoutchouc du composé dépend de la disponibilité du polymère et des caractéristiques du produit requises dans la défense.** La même logique causale s'applique également au choix et à la quantité des autres composants avec lesquels le composé de caoutchouc est mélangé.

Aussi plausible que cela puisse sembler, il est devenu courant dans l'industrie de la défense de dévier de cette vérité simple tout en diffusant des informations erronées. Dans ce cadre, affirmer à tort que la composition chimique d'un composant de caoutchouc est un critère principal de qualité pour une défense, déforme dangereusement les faits. **La composition chimique est importante dans la production de défense, mais ne fait pas tout. Comme montré auparavant, ce sont les propriétés physiques qui déterminent en définitive la qualité d'une défense.** Une telle distorsion des faits devient problématique lorsque des critères subjectifs sont invoqués par les parties prenantes en tant qu'indicateur de qualité des défenses. Un exemple assez bénin de cela concerne la densité des composés de caoutchouc. Une haute densité est considérée comme un symptôme de faible qualité - ce qui est une assertion problématique lorsqu'elle est acceptée sans remise en question.

COMPOSITION CHIMIQUE

TEST ATG

	COMPOSE 1		COMPOSE 2	
Polymère [%]	47.5		46.9	
Noir de carbone [%]	37.5		27.5	
Résidus (cendre) [%]	2.9		17.9	

PROPRIETES PHYSIQUES

TEST DE PROPRIETES PHYSIQUES

PROPRIETES	METHODE DE TEST	CARACTERISTIQUE	RESULTAT COMPOSE 1	REMARQUE	RESULTAT COMPOSE 2	REMARQUE
Résistance à la traction [MPa]	ASTM D412 Forme C – valeur d'origine avant vieillissement	≥ 16	20.20	✔	19.11	✔
Élongation à la rupture [%]	ASTM D412 Forme C – valeur d'origine avant vieillissement	≥ 400	514.00	✔	586.08	✔
Résistance à la déchirure [kN/m]	ASTM D624 Forme B	≥ 70	127.34	✔	104.42	✔
Compression rémanente [%]	ASTM D395 Méthode B – à 70 °C pendant 22 heures	≤ 30	19.31	✔	17.93	✔

Tableau 2 : Comparaison des composés au regard de la composition chimique et des propriétés chimiques | Composés 1 et 2 prélevés sur des défenses qui ont fonctionné avec succès pendant des années

Comme les composants tels que les additifs et les agents de vulcanisation ont une densité supérieure au caoutchouc, tout composé nécessitant un renfort est susceptible d'avoir une densité supérieure. Et, comme nous l'avons vu précédemment, de tels composés se conforment également aux normes internationales. **Ainsi la densité est uniquement un paramètre significatif lorsqu'elle est envisagée dans son contexte.** Un exemple plus frappant de ce type d'aveuglement est la pratique consistant à évaluer la qualité d'un composé de caoutchouc en le soumettant à une analyse thermogravimétrique (ATG).

L'ATG est une méthode d'analyse thermique dans laquelle un échantillon - dans ce cas précis, d'une défense en caoutchouc - est pesé en continu au cours du chauffage. Les différents composants brûlant à des températures différentes, la perte de poids fournit une indication de la composition de l'échantillon. Certaines parties, cependant, ne brûlent pas, même à de très hautes températures et malgré l'ajout d'oxygène atmosphérique. D'autres sont libérés sous forme de CO2 au cours du processus. Les parties qui ne se consument pas restant à la fin sont appelées des résidus (cendre). **Même si l'ATG est utile pour vérifier de façon pratique la composition chimique d'un composé, elle ne fournit pas de corrélation significative sur la qualité du composé.** Néanmoins, un pourcentage élevé de cendre est considéré par erreur par certains comme un indicateur de faible qualité, même s'il existe des raisons parfaitement logiques pour de tels résidus. Comme mentionné avant, le caoutchouc naturel, en tant que produit naturel, contient de la cendre. Il n'est donc pas surprenant que des quantités supérieures de cendre restent après avoir brûlé un composé de caoutchouc à base de caoutchouc naturel. Un autre résidu, l'oxyde de zinc, est communément ajouté au cours du processus de séchage comme additif de vulcanisation nécessaire. La silice, qui est l'agent de renforcement pour les défenses grises (voir également la page 5), ne brûle pas non plus et de plus grandes quantités de cendre restent. La même chose s'applique pour le CC mentionné précédemment.

L'utilisation des résultats de l'ATG pour discréditer des composants qui sont typiques dans la production de caoutchouc, essentiels même dans la conception de défense afin de se conformer à certaines exigences, peut être considérée comme une pratique trompeuse, mais également comme une pratique potentiellement dangereuse. Comme mentionné précédemment, les résultats de l'ATG ne permettent pas de tirer de conclusion significative quant à la qualité d'une défense ou de sa compatibilité avec un projet. Ainsi, les résultats de l'ATG ne garantissent pas qu'une défense soit à la hauteur de ce qui est prévu dans son champ de fonctionnement. **Et, si une défense de**

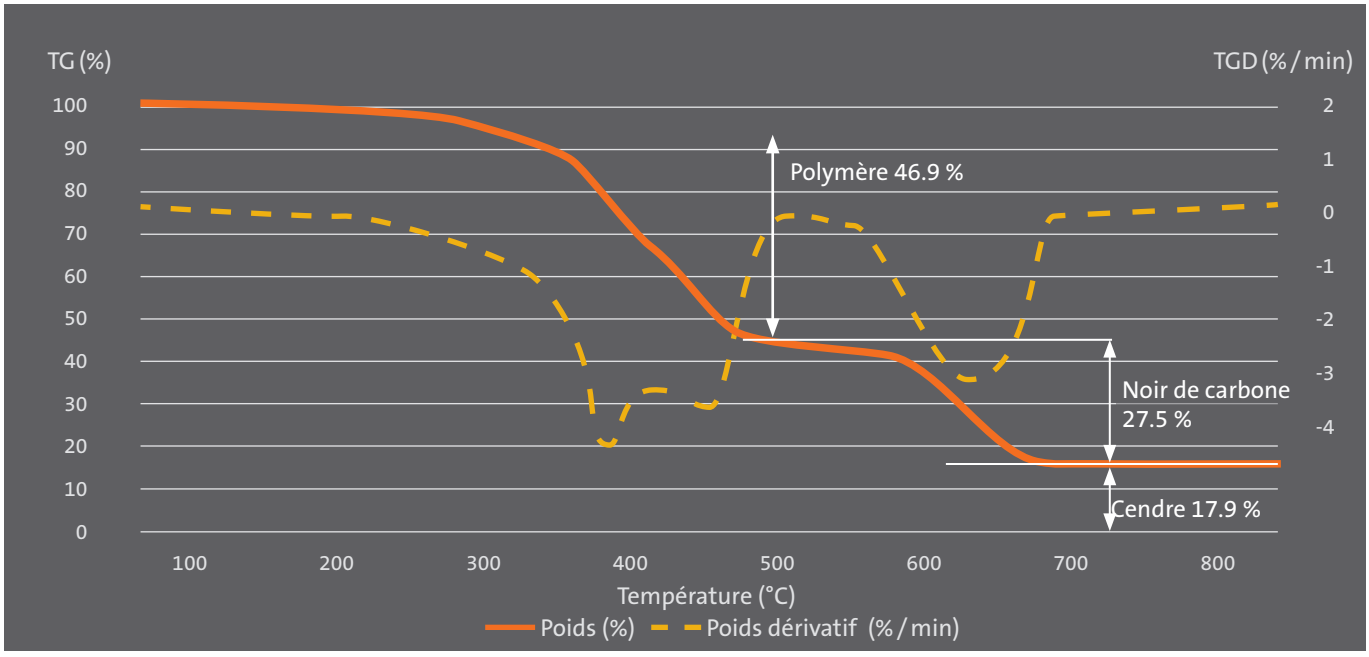


Figure 3 : Analyse thermogravimétrique (ATG) | Valeurs basées sur le composé 2 (voir Tableau 2)

caoutchouc ne se comporte pas comme prévu, la sécurité des opérations marines ne peut être assurée. Après tout, les défenses sont d'une importance capitale pour sécuriser les structures portuaires et créer un environnement sûr pour les bateaux et les équipages. Dans ce contexte, nous croyons que la réponse à ce qui fait une bonne défense doit non seulement refléter un haut niveau d'expertise technique, mais donner également des preuves d'un sens clair de responsabilité d'entreprise.

D'un point de vue technique, une bonne défense est le résultat d'une combinaison de matériaux bruts de haute qualité et d'un fabricant de défense expert dans la composition, garantissant ainsi que les performances du produit final se conforment, voire dépassent, les exigences individuelles du produit et également les normes internationales. D'un point de vue éthique, une bonne défense est la preuve physique d'une culture d'entreprise qui place les exigences de performances individuelles du client au premier plan pour déterminer la qualité du produit, et non son propre besoin de différenciation sur le marché. En résumé, la qualité d'une défense est déterminée par ses performances sur le terrain et non par les revendications du fabricant de défenses.

En tant que fabricants de défenses ayant une connaissance intense et une expertise inégalée en matière de production de caoutchouc, nous, au sein du groupe ShibataFenderTeam (SFT), croyons que la composition est une discipline nécessitant une expertise à ne pas prendre à la légère, et si spécifique à chaque projet qu'elle ne peut pas être généralisée. **Finalement, une défense maritime nécessite un composé de caoutchouc personnalisé en le dotant des bonnes propriétés physiques pour son champ d'application spécifique.** Avec ses Dossiers Techniques, SFT souhaite plaider pour plus de transparence dans la production de défense afin d'assurer des normes de qualité qui soient guidées par des produits de haute performance et un sens aigu de la responsabilité.

Le Groupe ShibataFenderTeam.

Le groupe ShibataFenderTeam est l'un des principaux fabricants de défense avec plus de 50 ans d'expérience dans la production de défense, plus de 100 000 défenses en service et plus de 90 ans d'expérience dans la production de produits en caoutchouc. Shibata Industrial, dont le siège social est situé au Japon, est responsable de la production et de la Recherche et du développement tandis que ShibataFenderTeam, dont le siège se situe en Allemagne, gère la conception et la vente. Leurs bureaux régionaux aux États-Unis, en Europe et en Asie sont soutenus par un large réseau de représentants locaux bien établis sur six continents. Créer et protéger de la valeur sont l'essence même de ce pourquoi nos produits sont prévus. Nous offrons une gamme complète de produits de défense maritimes, allant des profils en caoutchouc simples aux systèmes les plus sophistiqués, en passant par les accessoires et les dispositifs de fixation. Une ingénierie d'excellence permet à nos partenaires d'être sûrs de recevoir le meilleur de ce que nous faisons, peu importe l'endroit. Notre expérience nous a valu la réputation d'être un partenaire de confiance dans le marché des ports et des voies navigables international.

info@shibata-fender.team

www.shibata-fender.team

Références :

Sauf indication contraire, toutes les références au caoutchouc et à la composition du caoutchouc dans ce rapport proviennent de :
- Abts, G. (2007). Einführung in die Kautschuktechnologie (Introduction à la technologie du caoutchouc). Munich : Hanser
- Hofmann, W. & Gupta, H. (2009). Handbuch der Kautschuktechnologie (Guide de référence pour la technologie du caoutchouc). Ratingen: Gupta

Remarque :

- **Les propriétés physiques sont le seul indicateur fiable de la qualité d'un composé de caoutchouc qui est défini par les normes internationales.**
- **Les ratios des additifs et des agents de renforcement tels que le noir de carbone, le carbonate de calcium et la silice doivent être déterminés par des spécialistes ayant une profonde connaissance des matériaux, puisque la quantité et la taille des particules influencent grandement le composé ainsi que ses performances et sa durabilité.**
- **Les composés mélangés correctement avec du CC par des fabricants expérimentés respectent et dépassent les normes de test internationales, les défenses réalisées à partir de tels composés ont une haute durabilité et atteignent une durée de vie de plus 20 ans.**

DOSSIER TECHNIQUE #2

MÉLANGE.

PROCESSUS ÉTAPE PAR ÉTAPE



SHIBATAFENDERTEAM

on the safe side

Sommaire.

Dossiers Techniques de SFT 14
Dossiers Techniques de SFT – #2 15
A. La composition des ingrédients – Des choix fondamentaux. 17
B. La mastication du caoutchouc – Une préparation cruciale 18
C. L'équipement de mélangeage – L'efficacité du travail d'équipe avec la machine 19
D. La mise en feuille – Créer l'uniformité 21
E. Le mélange-maître – Tout sur les additifs 22
F. La finalisation – Une pointe de soufre 23
Conclusion 24
Le Groupe ShibataFenderTeam 25

Résumé.

La deuxième partie de cette série de Dossiers Techniques de SFT sur la fabrication de la défense s'inscrit dans la continuité de la première partie, en présentant une vue générale du processus de mélange des composés de caoutchouc. S'appuyant sur les résultats de la composition des ingrédients du caoutchouc exposés dans le document précédent, cette section s'intéresse aux étapes de préparation et de mélange des matières premières et de la manière dont elles influent sur la performance d'une défense en caoutchouc.

La fabrication des défenses – comme les autres secteurs de fabrication de produits en caoutchouc – est généralement considérée comme un secteur qui repose avant tout sur les connaissances pratiques et l'expérience. La complexité et l'infinité de possibilités en matière de composition du composé en caoutchouc et de techniques différentes de mélange, ainsi que les exigences spécifiques à chaque produit en caoutchouc, font qu'il est difficile de déterminer des procédures unifiées.
Le présent document décrit les différentes étapes du mélange du caoutchouc afin de donner un aperçu de cette partie très délicate de la fabrication d'une défense. L'examen de l'interaction complexe entre les matériaux et leur traitement et la présentation des différents appareils de mélange disponibles montrent à quel point la production de défenses de haute qualité dépend de l'expertise du fabricant. Le choix et l'utilisation appropriée de l'équipement reposent sur une expérience de longue date dans cette partie clé de la fabrication du caoutchouc et influent sur la qualité finale de la défense.

Dossiers Techniques de SFT.

Les systèmes de défenses maritimes jouent un rôle essentiel en termes de protection des personnes, des bateaux et de l'infrastructure portuaire ainsi que pour garantir la sécurité des opérations d'accostage. La qualité d'une défense maritime se mesure exclusivement à travers ses propriétés en matière de performance, qui peuvent se résumer à trois aspects : Sécurité, fiabilité et durabilité.

Néanmoins, les exigences associées à chaque système de défense sont toutes différentes, raison pour laquelle la mise au point d'une défense est un processus unique, allant de la conception et de l'ingénierie de solutions personnalisées au choix des matières premières, en passant par les procédés de fabrication.

Les normes et recommandations internationales en vigueur, telles que AIPCN 2002, ASTM D2000, EAU 2004, ROM 0.2-90 ou BS 6349 font référence uniquement aux propriétés physiques finales d'une défense maritime. Elles ne contiennent pas de spécifications concernant la composition chimique, tout comme il n'existe pas de règlements dans le secteur sur le mélange et les équipements utilisés dans le cadre de ces procédés. **Par conséquent, la qualité d'une défense et ses propriétés physiques sont et resteront l'objectif défini de la fabrication d'une défense.**
Cette série de Dossiers Techniques de SFT en quatre parties décrit la totalité du processus allant de la composition



Mélange-maître coupé et empilé pour la finalisation

des ingrédients du caoutchouc aux tests sur la défense en caoutchouc finale, afin de donner un aperçu non biaisé et exact d'une défense de haute qualité. Elle illustre la manière dont il est possible d'obtenir, à chaque étape de la production, les propriétés physiques qui auront une influence sur la performance de la défense.

La Partie I traite de la corrélation entre, d'une part, les matières premières et leur composition et d'autre part, les propriétés de la défense finale. La Partie II décrit d'importants aspects du processus de mélange et de l'équipement correspondant. La Partie III décrit les processus de fabrication et de vulcanisation et la Partie IV conclut cette série avec un rapport détaillé sur les tests.



Dossiers Techniques de SFT :
#1 Composition | #2 Mélange | #3 Séchage | #4 Test

À travers ses Dossiers Techniques, SFT souhaite promouvoir une plus grande transparence dans la production de défenses, afin d'assurer des standards de qualité, découlant d'un engagement en faveur de produits de haute performance et d'un grand sens des responsabilités.

Dossiers Techniques de SFT – #2.

Étant donné que le mélange est une étape essentielle dans la production des produits en caoutchouc, la présente partie Dossiers Techniques de SFT décrit les différentes phases du processus de mélange et de la manière dont elles influent sur la performance d'une défense en caoutchouc. Le traitement du caoutchouc requiert une incorporation et une dispersion minutieuses des ingrédients de la composition, tels que plusieurs types de caoutchoucs bruts, des agents de remplissage et différentes substances chimiques. **Il est crucial de s'intéresser à la manière dont ces éléments s'allient pour former une défense de haute qualité.** Une résistance mécanique, une flexibilité et une durabilité supérieures sont quelques-unes des exigences qui jouent un rôle clé dans la vie utile d'une défense. **Il y a une interdépendance entre toutes les étapes de la fabrication d'une défense, qui vont du choix des matières premières, contribuant à équilibrer la conception de la composition, à la précision du processus de mélange produisant le produit final prédéfini.** L'élaboration de la recette de composition et le processus de mélange qui s'ensuit sont les parties les plus délicates de la production d'une défense.

Il existe un grand éventail de compositions différentes de composés en caoutchouc, par conséquent le processus de mélange doit prendre en compte ces différences en termes de processus et d'équipement. **Puisqu'il n'y a pas deux projets de défense identiques, la singularité attachée à chaque projet dans le cadre du processus de production est essentielle.**

La complexité de l'interaction entre la composition et les propriétés du produit requièrent des connaissances approfondies et un solide et long savoir-faire de la part du fabricant - des qualités qui traditionnellement se développent et s'affinent grâce à une longue expérience dans ce domaine.



Caoutchouc brut naturel

Le traitement du caoutchouc, la fiabilité des processus et l'efficacité économique sont des caractéristiques qui peuvent s'obtenir de différentes manières. **Pour obtenir une distribution homogène des ingrédients de la composition ainsi qu'une dispersion élevée, le fabricant s'appuie sur un équipement industriel de mélange à haute performance.** Le présent document décrit ci-après l'équipement approprié pour chaque étape de la production, et émet quelques remarques sur certaines idées fausses largement répandues concernant les différents types de mélangeurs fréquemment utilisés dans l'industrie du caoutchouc.

Ce document présente le processus de mélange du caoutchouc (constitué de la mastication, de la production du mélange-maître et de la finalisation ; voir figures 1 et 2 pour un aperçu ainsi que les étapes plus en détail) et l'équipement tel que recommandé par ShibataFenderTeam Group (SFT) et visant à servir d'exemple pour le secteur.

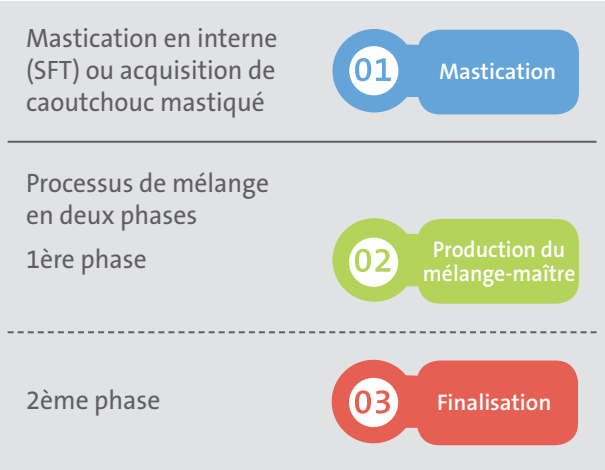


Figure 1 : Processus de mélange – Aperçu général

Remarque :

La procédure suivante présente un processus de mélange en deux phases qui ne prétend en aucun cas être la seule manière de fabriquer une bonne défense. Elle montre cependant la corrélation entre les différentes étapes du processus de mélange et les facteurs à prendre en compte pour la qualité finale d'une défense. Le mélange en une seule phase dans des mélangeurs internes est possible, ainsi que l'usage d'un seul type de mélangeur interne, bien que cette solution ne convienne pas à tous les composés en caoutchouc.

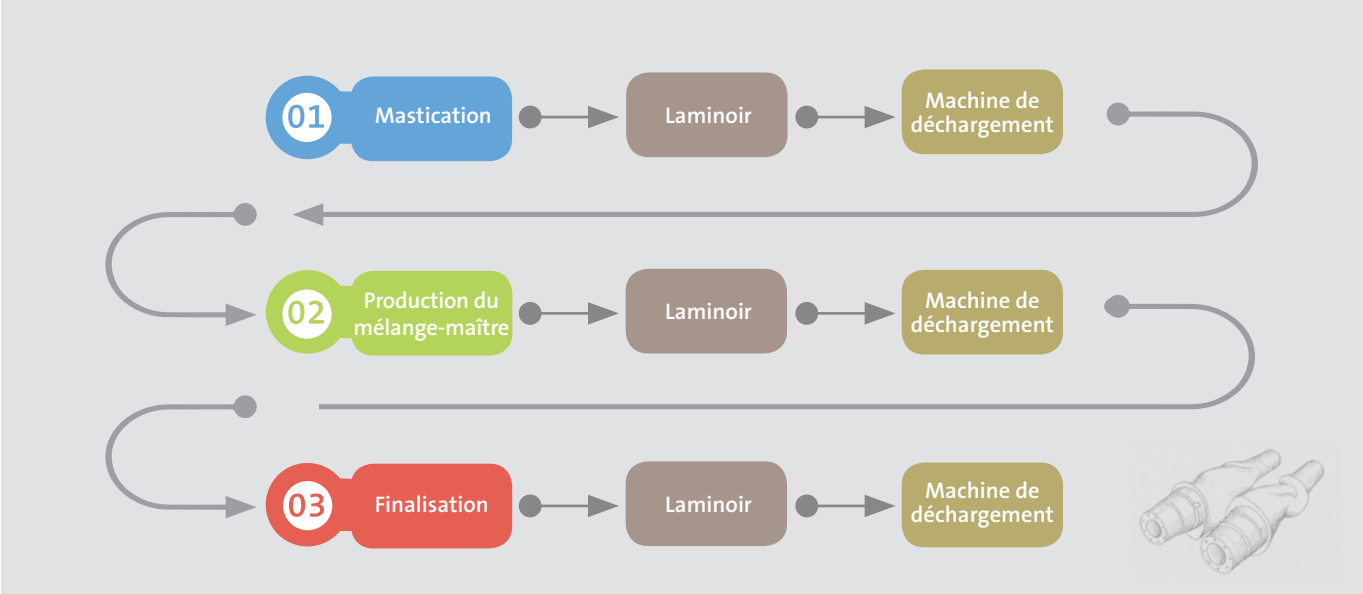


Figure 2 : Processus de mélange – Étapes détaillées

A. La composition des ingrédients – Des choix fondamentaux.

Comme nous l'avons vu dans la Partie I de cette série de Dossiers, une composition chimique du caoutchouc bien conçue est essentielle pour obtenir une défense de haute qualité et un comportement du mélange favorable. Pour éviter toute incohérence dans les propriétés finales du produit, la sélection des matières premières est particulièrement importante. L'état initial du caoutchouc naturel (NR), étant donné qu'il s'agit d'un produit naturel, peut présenter des viscosités différentes en raison de la variation du poids moléculaire et d'une distribution moléculaire inégale. Le NR se présente initialement sous forme de latex, extrait d'un arbre appelé Hevea brasiliensis. Une forte consommation et les contraintes géographiques de cette matière première au XVIIIe siècle ont entraîné le développement du caoutchouc synthétique (SR). Le caoutchouc synthétique le plus souvent utilisé dans les composés des défenses est le caoutchouc butadiène-styrène (SBR). De nos jours, il est habituel de mélanger le NR avec le SR, ce qui, en raison des propriétés complémentaires variées des différents types de caoutchouc, permet de renforcer les propriétés physiques de la défense telles que la résistance au vieillissement, la résistance à la traction et le traitement. **En fonction de la composition du mélange du caoutchouc, les autres ingrédients de la composition doivent être très précisément dosés afin d'obtenir une défense en caoutchouc finale présentant des caractéristiques optimales.** Les ingrédients supplémentaires qui renforcent les propriétés physiques requises de la défense, ainsi que le traitement du caoutchouc, sont le noir de carbone (CB), le carbonate de calcium naturel et synthétique (CC), l'huile de procédé, des agents antioxydants et antiozone pour protéger le caoutchouc contre le vieillissement et la détérioration par l'ozone, ainsi que du soufre qui agit en tant qu'agent vulcanisant. **L'interaction chimique et l'influence réciproque entre les différents éléments doivent être correctement prises en compte pour chaque composition de caoutchouc.** Comme mentionné ci-dessus, il y a une infinité de formules possibles et la composition est une affaire de précision au gramme près. La partie I de Dossiers Techniques présente des informations détaillées sur les différents ingrédients et sur la composition du caoutchouc.



Caoutchouc synthétique (caoutchouc butadiène-styrène)



Caoutchouc naturel mastiqué

B. La mastication du caoutchouc – Une préparation cruciale.

Le caoutchouc naturel, sous sa forme d'origine, possède un poids moléculaire élevé (équivalant à une viscosité élevée) et une structure moléculaire inégale – une caractéristique qui rend difficile le mélange homogène avec du caoutchouc synthétique ainsi que la dispersion uniforme avec d'autres ingrédients. C'est la raison pour laquelle une mastication mécanique (voir figure 3) est effectuée avant le processus de mélange réel, en vue d'obtenir une surface de matériau sensible à la dispersion du mélange de polymères et des ingrédients de la composition.

Au cours du processus de mastication mécanique, les forces de cisaillement des rotors dans un mélangeur interne décomposent la structure moléculaire du caoutchouc, raccourcissent les longues chaînes moléculaires et créent un alignement parallèle des molécules. Le produit qui en résulte est un caoutchouc à faible viscosité doté d'une plasticité et d'une aptitude à l'écoulement uniformes et constitue donc une matière première présentant des propriétés de mélange et un traitement idéaux. **Les fabricants de caoutchouc peuvent choisir d'acheter du caoutchouc mastiqué ou bien d'effectuer une mastication en interne (ce que fait SFT), qui présente des avantages supplémentaires en matière de gestion de la qualité et d'uniformité intra-lots et inter-lots.**

La mastication est généralement réalisée à l'aide de mélangeurs internes (pour en savoir plus sur les mélangeurs, voir la section suivante portant sur l'équipement de mélange). Lors de l'utilisation d'un mélangeur interne, le caoutchouc naturel entre dans la chambre de mélange par la porte de trémie sous forme de bloc, puis est traité par les deux pales du rotor en acier épais du mélangeur. Le caoutchouc mastiqué est déchargé et déversé directement dans un laminoir, où il est mis en feuille pour un traitement ultérieur (voir figure 4). Toutes les étapes, de la mastication à la finalisation, sont surveillées et documentées avec précision.



Caoutchouc mastiqué dans un laminoir

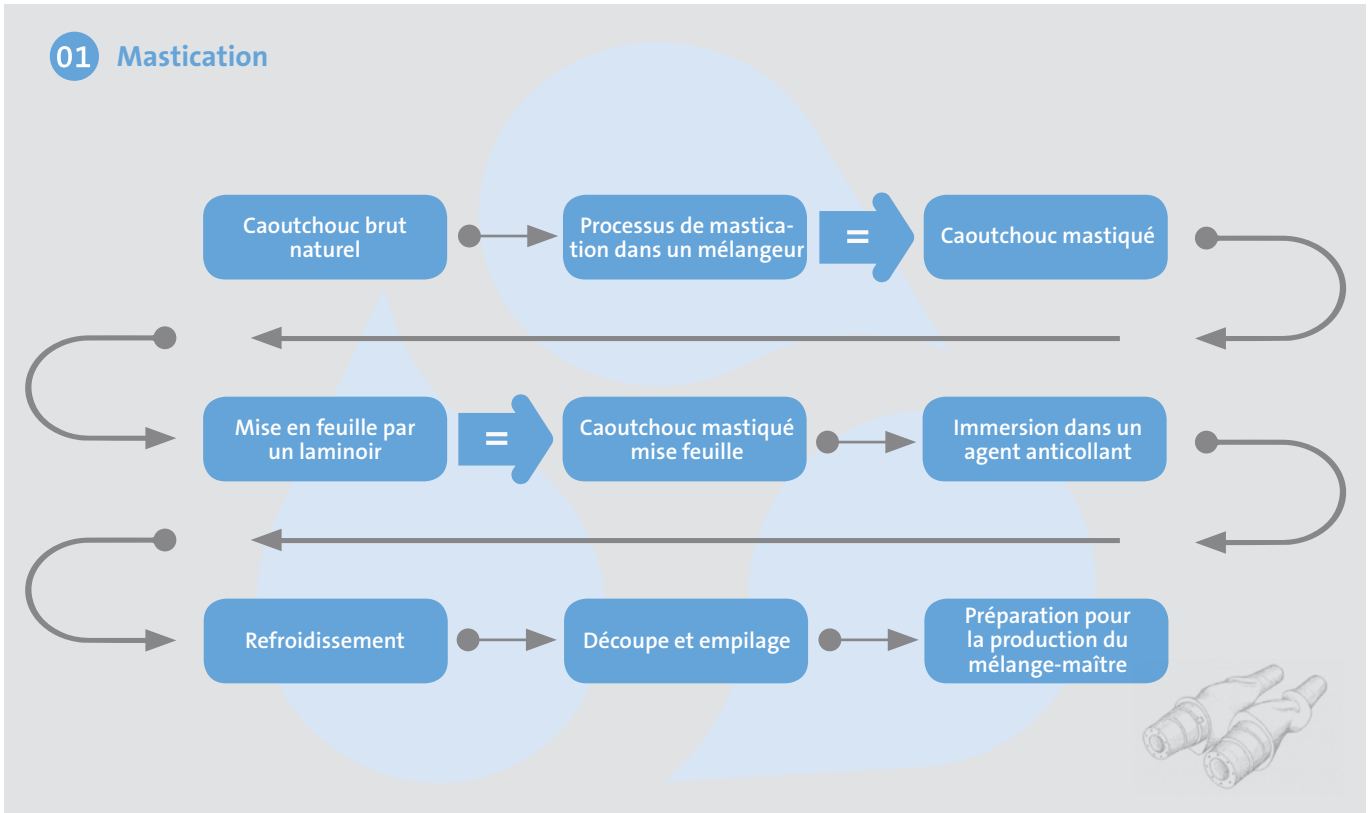


Figure 3 : Mastication – Étapes détaillées

C. L'équipement de mélange – L'efficacité du travail d'équipe avec des machines.

Les mélangeurs les plus fréquemment utilisés dans la fabrication de caoutchouc sont le Banbury et le Kneader, tous les deux des mélangeurs internes, ainsi que le laminoir. **Bien que la construction de ces deux mélangeurs internes soit similaire du point de vue de leurs caractéristiques mécaniques, chacune d'entre elles a ses procédés de prédilection et elles peuvent être utilisées toutes les deux de façon complémentaire pour optimiser la gestion du temps et l'efficacité économique.** Toutes deux sont constituées fondamentalement de paires de rotors contrarotatifs, d'une chambre de mélange, d'un poids flottant (pilon) et d'une trémie d'alimentation. Les deux mélangeurs comportent des mécanismes d'évacuation du caoutchouc différents : dans le Kneader, le caoutchouc sort directement de la chambre de mélange, qui est inclinée vers l'arrière afin de pouvoir déverser le matériau. Le Banbury, quant à lui, présente une trappe de vidange à travers laquelle le caoutchouc est déversé dans le laminoir.

Les deux machines sont disponibles avec différentes dimensions de chambres. **Contrairement à une croyance largement répandue dans le secteur, une plus grande taille de mélangeur ne signifie pas une plus grande efficacité du processus ou une plus grande qualité du résultat final ;** avec des polymères thermosensibles tels que le NR ou le SBR, il convient de ne pas dépasser une certaine température pendant le processus de mélange. Le principal avantage des petits mélangeurs est de présenter un meilleur rapport entre le volume de la chambre et la surface de refroidissement. Les systèmes de mélange de dimensions réduites ont un rapport surface-refroidissement supérieur à celui des systèmes plus grands : Le volume du cube augmente quand la surface de refroidissement du carré augmente. Par conséquent, la température de mélange sera toujours considérablement plus élevée dans un plus grand mélangeur. En outre, dans les grands mélangeurs, le mélange de grands lots prend plus de temps, ce qui peut endommager la structure moléculaire du caoutchouc et nuire à la qualité du composé final. La qualité diminue lorsque la durée de mélange s'allonge, et affecte en définitive de façon négative les propriétés physiques du produit final. **En effet, un plus grand mélangeur est économiquement avantageux en raison de ses taux de production plus élevés mais si l'on choisit de faire primer la qualité sur la quantité, il convient de privilégier un mélangeur de taille moyenne.**

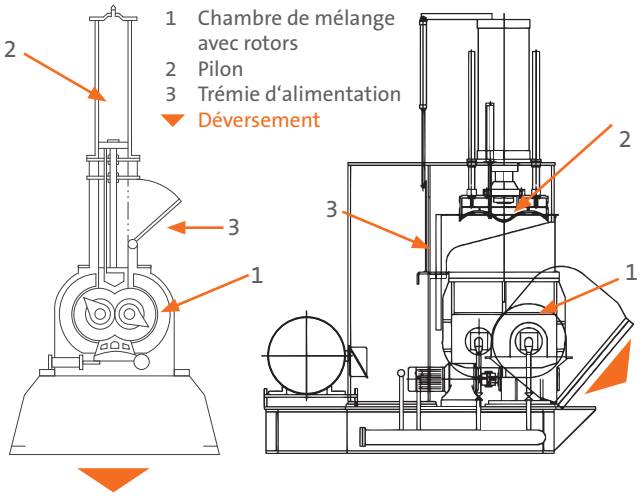


Schéma d'un mélangeur Banbury

Schéma d'un mélangeur Kneader



Mélangeur Banbury



Mélangeur Kneader

En dépit des similitudes entre les deux mélangeurs internes, chacune de ces machines a des avantages qui amènent à privilégier l'une ou l'autre suivant les étapes de production (pour un aperçu général, voir tableau 1). Le Banbury est un mélangeur qui convient mieux pour la production du mélange-maître grâce à son moteur à haute performance, sa vitesse de rotor réglable et son système de pesage automatique. De hauts degrés de dispersion et le mélange d'un caoutchouc à haute viscosité peuvent être obtenus dans de courts laps de temps. Étant donné que le Banbury fonctionne à des températures plus élevées que le Kneader, il ne constitue pas la meilleure solution pour la mastication et la finalisation, bien que ces étapes puissent être réalisées. La température plus élevée du Banbury est compensée par un temps de mélange plus court. Le Kneader présente cependant certains avantages par rapport au Banbury, à savoir :

- La mastication : le chargement des blocs de caoutchouc brut est facile.
- La production du mélange-maître : pour produire des composés colorés, gris par exemple, parce que la température du mélange doit être relativement faible.
- Finalisation : l'effet de refroidissement est plus important et le déchargement du matériau depuis la chambre de mélange est plus facile.

Le choix du bon mélangeur en fonction de l'étape de production concernée et son bon usage requièrent une longue expérience ; l'utilisation des deux mélangeurs peut s'avérer très avantageuse.

Le laminoir est constitué de deux cylindres tournants, avec un écart entre les deux qui peut être ajusté. Le laminoir peut être utilisé pour toutes les étapes du processus de mélange. Pour la production du mélange-maître, d'autres ingrédients entrant dans la composition sont ajoutés au caoutchouc. Les forces de cisaillement extrêmement élevées du laminoir à de faibles températures entrainent une plus grande dispersibilité des ingrédients, mais contrairement aux mélangeurs internes qui sont dotés de chambres hermétiques, le laminoir est un système mécanique ouvert, et les matières premières s'éparpilleraient.



Laminoir

Cela créerait un environnement de production poussiéreux et dangereux, ce qui représente un argument de poids en faveur de l'usage de mélangeurs internes. En outre, un temps de mélange plus important réduit l'efficacité du laminoir. Par conséquent, celui-ci est donc plus fréquemment utilisé pour la mise en feuille, un processus qui sera décrit dans la section suivante.

ÉTAPE DE MÉLANGEAGE	MÉLANGEURS INTERNES		LAMINOIR
	BANBURY	KNEADER	LAMINOIR À DEUX CYLINDRES
Mastication 01	+ possible, mais moins efficient	+ remplissage efficient des blocs de caoutchouc	+ forces de cisaillement supérieures – plus faible productivité
Production du mélange-maître 02	+ convient aux caoutchoucs à viscosité élevée + vitesse du rotor réglable + dispersion rapide + chambres hermétiques + pesage automatique + la température est adéquate pour la dispersion chimique	+ chambres hermétiques + approprié pour les composés colorés en raison de sa température plus faible – plus faible productivité que le Banbury – ne convient pas aux caoutchoucs à viscosité élevée	+ forces de cisaillement élevées et dispersion très complète – plus faible productivité – éparpillement des matières premières – requiert un opérateur qualifié – environnement de travail dangereux
Finalisation 03	+ possible, mais moins efficient	+ effet de refroidissement plus important + déchargement facile du matériau	+/– voir ci-dessus

Tableau 1 : Les équipements de mélangeage en un coup d'œil



Mélange-maître dans le laminoir

D. La mise en feuille – Créer l'uniformité.

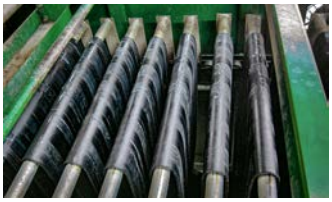
Après chaque opération de mélange (mastication, production de mélange-maître et finalisation), le caoutchouc est préparé pour l'étape de production suivante à travers la mise en feuille sur un laminoir. **Le caoutchouc qui est déchargé dans l'espace entre les cylindres est de nouveau mélangé par les cylindres rotatifs et subit les forces de cisaillement élevées.** Le caoutchouc s'enroule ensuite autour du cylindre frontal et est transformé en une feuille par les deux cylindres. La machine de déchargement est placée à côté du laminoir. Elle exécute quatre étapes principales au moyen d'un couteau rotatif situé en fin de ligne (voir figure 4). D'abord, les feuilles de caoutchouc sont embossées avec le code de composition (mélange-maître et composé finalisé uniquement) et immergées dans un récipient rempli d'un agent anticollant dilué qui empêche les feuilles de caoutchouc non vulcanisées de se coller les unes aux autres. Les feuilles de caoutchouc sont ensuite transférées dans une chambre de refroidissement qui diminue rapidement leur température et contribue, en outre, à sécher l'agent anticollant. Enfin, le caoutchouc est transféré au couteau rotatif, où les feuilles sont découpées suivant la longueur souhaitée. Le caoutchouc finalisé reste non coupé et est plié en une seule pièce afin d'améliorer l'aptitude au traitement pour le processus de fabrication suivant.



Embossage



Immersion dans un agent anticollant



Refroidissement



Découpe

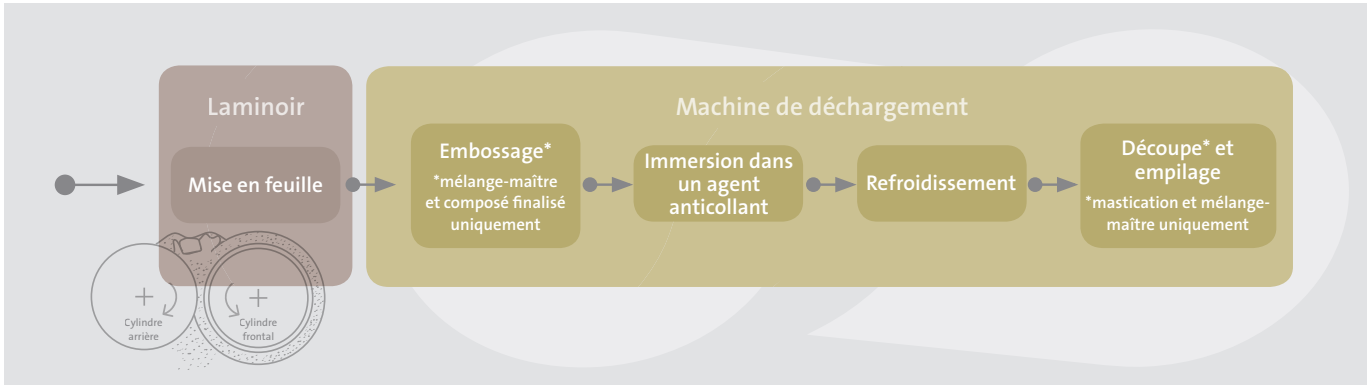


Figure 4 : Processus de mélange – Laminoir et machine de déchargement

E. Le mélange-maître – Tout sur les additifs.

Le processus de mélange en deux phases commence par la production du mélange-maître, une étape cruciale du processus de mélange, qui doit de préférence être effectuée au moyen du Banbury (voir figure 5). Pendant cette étape, tous les ingrédients de la composition, à l'exception de l'agent vulcanisant, sont mélangés. **Il convient de prêter une attention particulière à la séquence d'ajout des ingrédients et des délais de mélange correspondants.** Dans un premier temps, le caoutchouc naturel mastiqué (NR) est mélangé avec le caoutchouc synthétique (caoutchouc butadiène-styrène, SBR) pour former un mélange de caoutchouc uniforme. En raison des propriétés naturelles du caoutchouc obtenu à l'issue de la mastication, le mélange de caoutchouc peut être mélangé de façon optimale avec tous les agents de remplissage et substances chimiques requis pour obtenir les propriétés physiques désirées. La deuxième étape est marquée par l'ajout du noir de charbon et de l'huile de procédé et, après le temps de mélange, les agents de remplissage et substances chimiques sont libérés dans la chambre. Après l'ajout de chaque ingrédient, la porte de trémie est refermée et le matériau est écrasé par le pilon dans la chambre, où il est ensuite mélangé tandis que l'évolution de la température et les forces de rotation sont strictement surveillées.

Plusieurs paramètres doivent être précisément contrôlés lors de cette opération. Premièrement, le système de pesage automatique et le contrôleur automatique du processus de mélange du Banbury préviennent les erreurs humaines concernant la composition chimique du composé et les réglages du mélangeage. **Si lors de cette phase le mélange est inadéquat, le noir de charbon n'est pas dispersé de façon homogène, ce qui va se répercuter de façon négative sur le composé final.** Le mélange doit être effectué à une température relativement élevée, afin de faire fondre les substances chimiques pour obtenir une dispersion adéquate. Mais si les températures sont trop élevées, le caoutchouc devient trop mou et les forces de cisaillement créées sont insuffisantes, ce qui entraine une plus faible dispersion des ingrédients. En outre, étant donné que le NR et le SBR ne sont pas résistants aux hautes températures, des températures trop élevées vont avoir un effet négatif sur les propriétés physiques du composé. **Le besoin de créer le juste équilibre au niveau des températures requiert donc la surveillance étroite de la vitesse et des temps de mélange.** De plus, le Banbury est équipé d'un système de refroidissement très efficace qui aide à contrôler la température pendant tout le déroulement du processus. Le mélange-maître est ensuite de nouveau traité par le laminoir et la machine de déchargement, puis sera stocké pendant une période de refroidissement avant de subir un nouveau traitement.

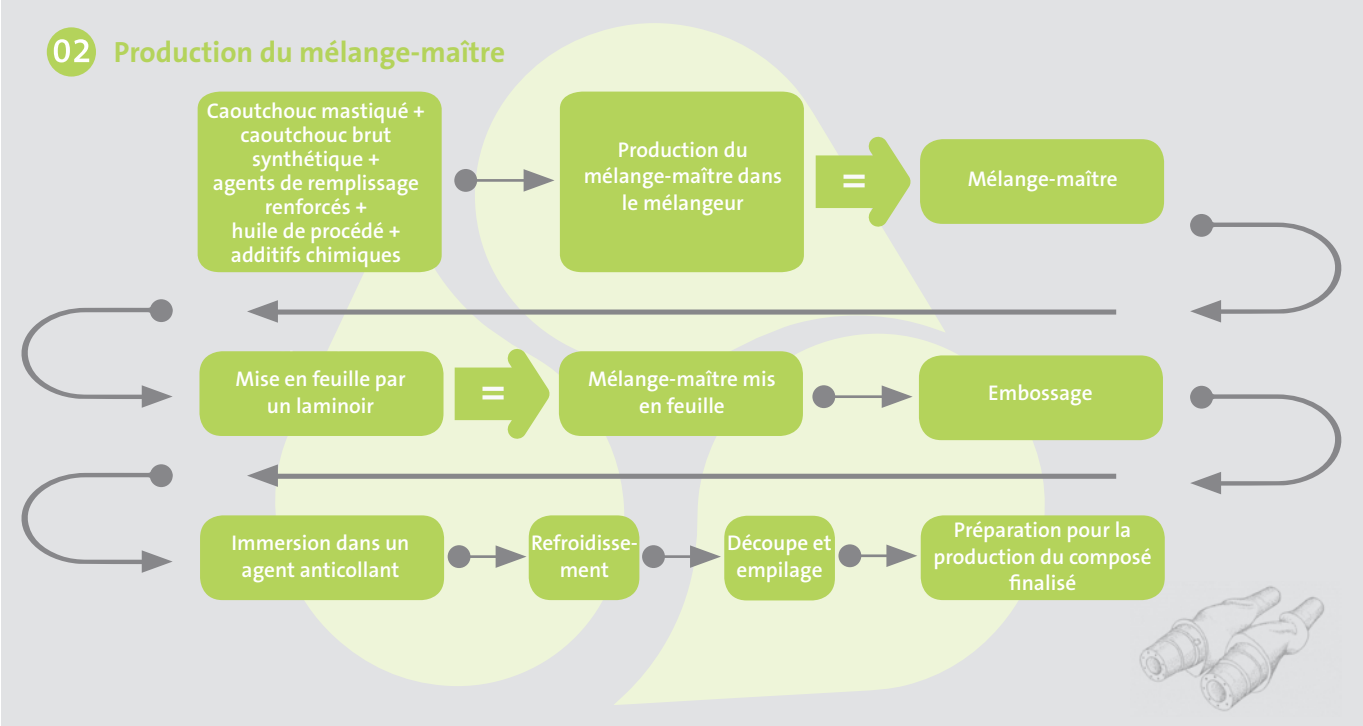


Figure 5 : Production du mélange-maître – Étapes détaillées

F. La finalisation – Une pointe de sulfure.

Lors de la deuxième étape du processus de mélange, à savoir la finalisation, le mélange-maître est mélangé avec du soufre pour la préparation du processus de fabrication et de vulcanisation, qui sera traité dans la partie III de cette série de Dossiers Techniques (voir figure 6).

Le soufre est l'agent vulcanisant le plus fréquent pour les défenses en caoutchouc. Il est utilisé en association avec d'autres substances chimiques qui accélèrent la vulcanisation et évitent le grillage, notamment de l'oxyde de zinc ou de l'acide stéarique. **Alors que cette étape est importante pour améliorer l'efficacité de la réticulation des chaînes de polymères du caoutchouc (vulcanisation), l'ajout et le mélange minutieux de soufre renforcent la dureté finale du caoutchouc et ses propriétés élastiques.** Après l'ajout de soufre, il faut éviter une augmentation de la température pour empêcher une vulcanisation prématurée. **Le Kneader est le dispositif de mélange recommandé pour la finalisation, car contrairement au Banbury, il ne dépasse pas facilement la température critique de vulcanisation.** Le composé final est traité dans le laminoir et la machine de déchargement, puis est ensuite stocké en une seule pièce pliée, mais



Composé finalisé dans le laminoir

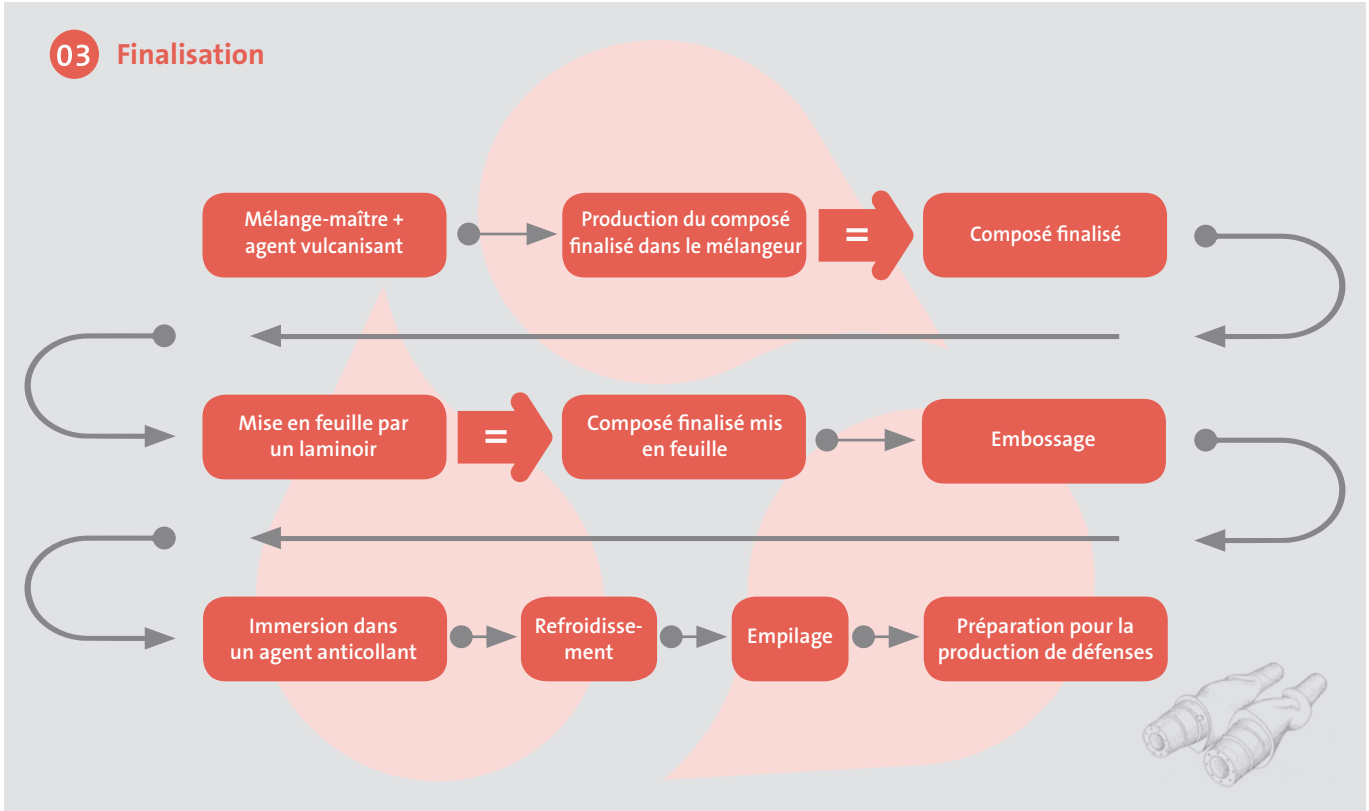


Figure 6 : Finalisation – Étapes détaillées

non découpée, ce qui facilite le processus de fabrication ultérieur (partie III de la série de Dossiers Techniques).

L'étape suivante de la production de défenses, à savoir la fabrication et la vulcanisation, repose sur la détermination précise du temps de grillage, du temps de vulcanisation optimal ainsi que des couples minimal et maximal. **Ces paramètres peuvent varier entre différents lots de composé. Par conséquent, il est essentiel de les tester et de les déterminer pour obtenir un produit de haute qualité.** À cette fin, un échantillon de composé finalisé est placé dans un rhéomètre, qui détermine toutes les données pertinentes à l'aide d'un logiciel spécifique, en vue de programmer les paramètres de vulcanisation optimaux pour chaque composé. De cette façon, la qualité de chaque lot de composé peut être en permanence réévaluée.

Le même échantillon-test est utilisé pour tester les propriétés physiques du composé. La réalisation de ces deux tests lors de cette phase de production des défenses permet d'obtenir une évaluation qualitative précoce.



Échantillon-test pour le rhéomètre



Caoutchouc finalisé plié pour le processus de fabrication

Conclusion.

Comme nous l'avons vu dans les parties I et II de cette série de Dossiers Techniques, le processus allant de la conception du composé pour une défense en caoutchouc avec les propriétés physiques souhaitées, jusqu'au procédé de mélange respectant les standards de qualités les plus élevés, est très complexe. Les composés en caoutchouc destinés aux défenses en caoutchouc doivent posséder une résistance mécanique, une flexibilité et une durabilité supérieures tout en présentant un bon rapport qualité-prix. Chez SFT, notre mission est de maximiser et d'exploiter les forces de chaque matériau en combinant différents types de caoutchoucs, d'agents de remplissage et de substances chimiques et en utilisant un excellent processus de mélange.

L'ajustement de la composition pour chaque nouveau projet de défense en fonction des exigences de ce dernier est étroitement surveillé chez SFT, car les caractéristiques des compositions en caoutchouc influent énormément sur la performance et la durabilité des défenses. Les composés des défenses en caoutchouc ne peuvent en aucun cas être généralisés à l'ensemble du secteur.

Et lorsque nous disons qu'un bon dosage des matières premières est absolument nécessaire pour la conception du composé et que cela fait partie intégrante de notre expérience, nous n'exagérons pas. **Il existe une infinité de combinaisons possibles en matière de composition de caoutchouc et toutes dépendent du type et de la quantité de caoutchoucs bruts ainsi que des agents de composition utilisés dans la formulation.** Chez SFT, nous sommes convaincus qu'il est fondamental de posséder une expertise en matière de conception de composés, de mélange, de production et de tests pour garantir la sécurité, la fiabilité et la durabilité d'une défense.

Néanmoins, la meilleure des formulations de composé et la plus grande qualité de matières premières ne garantissent pas la production d'une défense durable si des techniques de mélangeage inappropriées ou un mauvais équipement sont utilisés. **Le Banbury et le Kneader sont deux solutions fiables et efficientes pour le mélange de composé de haute qualité et il peut même s'avérer très avantageux de les utiliser toutes les deux.** La méthode utilisée pour obtenir cette qualité peut varier suivant les propriétés physiques requises du produit final, mais dans la plupart des cas, elle est le fruit d'une longue expérience avec les matériaux et les proces-

sus impliqués. **Enfin, la cohérence d'un processus complexe tel que le mélange de caoutchouc personnalisé dépend dans une large mesure du contrôle opérationnel de chaque étape de la production, d'une vision solide de la gestion de la qualité et, encore une fois, de l'expérience du fabricant.**

Chez SFT, en tant que fabricant de défenses disposant de connaissances approfondies et d'une expérience de plus de 90 ans dans la production de caoutchouc, nous assumons l'intégralité du processus orienté vers des projets spécifiques, un processus qui va des calculs et de la conception jusqu'à la création et production d'une défense durable et de très grande qualité, tout en respectant pleinement les normes et recommandations internationales et étant pleinement conscients de nos responsabilités.

Références :
Sauf indication contraire, toutes les références au caoutchouc et au mélange du caoutchouc faites dans ce Dossier Technique sont extraites des ouvrages suivants:

- Abts, G. (2007). Einführung in die Kautschuktechnologie *(Introduction à la technologie du caoutchouc)*. München: Hanser
- Hofmann, W. & Gupta, H. (2009). Handbuch der Kautschuktechnologie *(Guide de référence sur la technologie du caoutchouc)*. Ratingen: Gupta
- C. Hopmann, J.P. Dering, and A. Lipski (2015). Process analysis for efficient rubber processing *(Gummi Fasern Kunststoffe, 68, No. 1, pages 44-50)*. Ratingen: Gupta
- Nobuyuki, N. (2000). Science and Practice of Rubber Mixing. Shawbury: Capra Technology Limited
- New Edition, Basic Rubber Technology, Third impression of the revised edition (2010). The Society of Rubber Science and Technology, Japan
- Dossier technique n°1 ShibataFenderTeam: Composition

Remarque :

- **Les propriétés physiques d'une défense en caoutchouc ne dépendent pas seulement de la qualité du composé en caoutchouc. Le traitement adéquat du matériau lors du processus de mélange et le choix de l'équipement sont tout aussi importants.**
- **Le choix du dispositif de mélange le plus approprié à chaque étape de production au sein d'un éventail d'appareils disponibles, ainsi que le grand savoir-faire des opérateurs, jouent un rôle crucial dans la production d'une défense qui respecte et dépasse les normes de tests internationaux.**
- **Les aspects de l'équipement de mélange qui jouent un rôle important dans la qualité du composé final sont notamment la vitesse du rotor, l'évolution des températures et le rapport entre le volume de la chambre et la surface de refroidissement. Les mélangeurs de grande dimension sont peut-être plus rentables, mais ne sont pas forcément avantageux du point de vue de la qualité du composé.**

Groupe ShibataFenderTeam.

Le Groupe ShibataFenderTeam est l'un des principaux fabricants internationaux de défenses. Jouissant d'une expérience de plus de 50 ans dans la production de défenses, il compte plus de 100 000 défenses en service dans le monde entier et est fort de 90 ans d'expertise en matière de produits en caoutchouc. Shibata Industrial a son siège au Japon et est responsable de la production et de la recherche et développement, tandis que ShibataFenderTeam, installé en Allemagne, est chargé de la conception et des ventes. Leurs bureaux régionaux aux États-Unis, en Europe et en Asie s'appuient sur un vaste réseau de représentants locaux bien implantés, présents sur six continents.

La création et la protection de valeur, voilà l'essence et la finalité de nos produits. Nous fournissons l'éventail complet de produits de défenses maritimes : des simples profils en caoutchouc à des systèmes extrêmement sophistiqués ainsi que des accessoires et des fixations. L'excellence de l'ingénierie signifie que nos partenaires peuvent être sûrs que nous leur offrons le meilleur de nous-mêmes dans tous les domaines. L'expérience nous a permis de nous forger une réputation de partenaire fiable et digne de confiance sur le marché des ports internationaux, petits ports et voies navigables.

info@shibata-fender.team
www.shibata-fender.team

DOSSIER TECHNIQUE #3

FABRICATION ET DURCISSEMENT.

PERFECTION AVANCÉE



SHIBATAFENDERTEAM

on the safe side

Sommaire.

Dossiers Techniques de SFT 27

Dossiers Techniques de SFT – #3 28

A. Pression, température et durée 28

B. Fabrication – Quand la magie opère 30

Méthodes de fabrication 31

C. Durcissement – La métamorphose du caoutchouc 32

Méthodes de durcissement 33

Conclusion 35

Le Groupe ShibataFenderTeam 35

Résumé.

Le Groupe ShibataFenderTeam continue la publication en quatre parties de Dossiers Techniques sur la fabrication de défenses avec illustrations détaillées de plusieurs procédés de fabrication et de durcissement. Le Dossier Technique #3 présente deux des étapes les plus critiques pour la qualité du procédé de fabrication de défense.

Alors que les Dossiers Techniques #1 et #2 établissaient les interdépendances complexes entre la composition et le mélange, la troisième publication révèle la large gamme de méthodes de fabrication et de durcissement et comment le procédé respectif doit être ajusté au type de défense, à son rendement nécessaire et aux composés choisis. Étant donné que les méthodes de fabrication et de durcissement affectent directement les propriétés de la défense, un fabricant responsable et expérimenté donnera toujours la priorité à la qualité du produit et les réglages pour une méthode optimale.

Dans le Dossier Technique #3, SFT examine les méthodes de fabrication et de durcissement en se centrant sur les paramètres déterminant la qualité, tels que la pression, la température et la durée. Les différentes procédures possibles sont introduites sur cette base. Il faut préciser que plus d'une méthode peut être utilisée pour produire exactement le même type de défense, mais toutes les méthodes ne donnent pas la même qualité. C'est pourquoi le choix de la méthode idéale dépend d'une longue expérience. En prenant attentivement en considération les paramètres importants aussi bien pour la fabrication que pour le durcissement, les méthodes disponibles qui affectent les aspects de qualité de la défense composent cette partie de la série de Dossiers Techniques de SFT, en tant que troisième pilier de la production de défenses de haute qualité.

Dossiers Techniques de SFT.

Grâce à sa série de Dossiers Techniques, SFT partage une profonde connaissance de l'industrie et contribue à établir des standards de pointe pour la fabrication de défenses. Basé sur les Dossiers Techniques #1 et #1, SFT passe en revue de manière pratique les aspects importants de la fabrication et du durcissement de défenses dans le Dossier #3, qui précède le Dossier nº 4 qui vient conclure la série avec un rapport détaillé des essais.

Les Dossiers Techniques #1 et #2 (« Composition : Une route sinueuse » et « Mélange : Processus étape par étape »), se sont focalisés sur l'importance capitale des exigences propres à chaque projet de défense, ce qui oblige à trouver un système d'accostage sur-mesure pour chaque cas et chaque scénario. **Les conclusions qui ont pu être tirées des Dossiers Techniques #1 et #2 sont : l'importance des composés en caoutchouc individualisés de la défense, l'importance du fait qu'une défense soit dotée des propriétés physiques nécessaires pour son champ d'application spécifique et que la sélection des dispositifs de mélange les plus adaptés à**



Dossiers Techniques de SFT :
#1 Composition | #2 Mélange | #3 Durcissement | #4 Tests

chaque étape de production joue un rôle primordial dans la production d'une défense de haute qualité.

Le thème central des Dossiers Techniques et des discussions au sein de l'industrie concerne le fait que seules les propriétés physiques d'un composant en caoutchouc sont étroitement liées à la qualité et la durabilité et se basent sur des normes définies à l'échelle internationale. Les recommandations internationales actuelles, telles que PIANC2002, ASTM D2000, EAU 2004, ROM 2.0-11 (2012) ou BS6349 (2014) font exclusivement référence aux propriétés physiques d'une défense en caoutchouc. Par conséquent, la durabilité d'une défense et ses propriétés physiques sont et resteront l'objectif défini pour la fabrication d'une défense, ce sur quoi le Groupe SFT s'est centré.

Dossiers Techniques de SFT – #3.

Le document #3 de la série de Dossiers Techniques SFT aborde une approche pratique d'une étape décisive et critique pour la qualité dans l'industrie des défenses d'accostage : la fabrication et le durcissement.

La fabrication est le procédé qui transforme un composé caoutchouc feuilleté en une défense, soit à l'aide d'un moule, soit en enroulant les feuilles de caoutchouc sur un mandrin, soit en extrudant le caoutchouc à travers un moule. L'étape suivante est le durcissement du caoutchouc, par exemple en transformant la condition du caoutchouc depuis un état plastique à un état élastique. Dans une fenêtre de temps spécifiée, la pression et la chaleur transforment le caoutchouc non vulcanisé en une structure moléculaire réticulée en trois dimensions qui donne au produit vulcanisé ses propriétés finales extraordinaires. Même s'il existe un grand nombre de méthodes de fabrication et de durcissement, la procédure respective doit être adaptée au type de défense, à la performance recherchée et aux composés choisis. **Un fabricant de confiance et expérimenté donnera toujours la priorité à la qualité du produit et définira la meilleure méthode.**

Ce document est divisé en trois sections : une introduction (Section A) aux éléments ayant l'impact le plus crucial durant la fabrication (Section B) et durant le durcissement (Section C). Il conclut avec les conséquences d'une mauvaise fabrication ou d'un mauvais durcissement pour une défense en caoutchouc.

A. Pression, température et durée.

Avant d'aborder les différentes méthodes de fabrication et de durcissement en détail, il faut mentionner qu'il existe trois grands facteurs qui influencent chaque méthode : **la pression, la température et la durée. Le contrôle de ces trois paramètres est crucial afin d'atteindre un produit en caoutchouc de haute qualité et durable.** Une défense durable ne peut être fabriquée qu'à une pression exacte et à la bonne température, pendant une certaine durée. Cela est encore plus important pour les défenses à performance élevée, telles que les défenses tronconiques et les défenses cellulaires.

On différencie la **pression** entre pression interne et pression externe, les deux formes de pression ayant une influence majeure sur le produit final.
La pression interne résulte de l'expansion thermique du caoutchouc. La pression externe est appliquée depuis l'extérieur en utilisant différents mécanismes en fonction de la méthode de fabrication. Une pression interne insuffisante peut provoquer des produits de faible qualité avec une mauvaise durabilité et un délaminage des feuilles de caoutchouc. D'autres défauts tels que de larges marques de flux ou une force adhésive insuffisante entre les plaques d'acier intégrées et le caoutchouc peuvent également se produire. Certaines marques de flux constituent une imperfection à la surface et sont fréquentes dans l'industrie. Néanmoins, de larges marques de flux peuvent être un signe de défauts internes, tels que des vides dans le corps en caoutchouc qui ne peuvent pas être détectés par une inspection visuelle. Ces défauts deviennent évidents durant les cycles de rodage et les tests de performance, au plus tard. Si une pression interne adéquate est adaptée durant la fabrication et est conservée durant le durcissement, les risques de délaminage, de vides, de larges marques de flux et de défauts internes sont considérablement réduits. La pression recommandée peut varier entre 2 MPa et 15 MPa, en fonction du composé, de la taille de la défense et de la méthode de production (voir figure 1).

Exactement comme pour la pression, la **température** a un impact sur le produit final et doit typiquement être maintenue sous les 90 °C pour la fabrication et entre 100 et 150 °C pour le durcissement. **Une augmentation progressive de la température de durcissement est réalisée, ce qui est très**

important pour éviter le réchauffement du composé à la température maximale en une seule fois (voir figure 2). Les températures trop basses durant la fabrication impliquent une faible fluidité du caoutchouc et, sans la viscosité nécessaire, le moule peut ne pas être rempli entièrement, ce qui peut provoquer des défauts majeurs. De plus, des températures trop élevées durant le durcissement peuvent provoquer un grillage, c'est-à-dire une vulcanisation prématurée. Cela décolore et brûle la surface du caoutchouc et endommage le produit. Les hautes températures sont étroitement liées à la durée de durcissement. **Afin d'accélérer le durcissement, certains fabricants compensent les durées de durcissement plus courtes en appliquant des températures plus élevées, ce qui n'est pas recommandé, car cela peut provoquer des défauts ou des produits de faible qualité.**

La **durée** du durcissement dépend de l'épaisseur du caoutchouc et des composés, elle peut aller de quelques heures pour les petites défenses à deux jours pour les défenses les plus grandes. **La durée de durcissement exacte pour chaque composé en caoutchouc est déterminée individuellement et prédéfinie après la fin du processus de mélange** (voir Dossier Technique #2, page 12). Tout comme les faibles pressions internes peuvent provoquer une faible force adhésive entre les plaques d'acier noyées et le caoutchouc, des durées de durcissement trop longues peuvent avoir le même effet. Des durées de durcissement trop courtes, même à la bonne température, peuvent également provoquer un produit de faible qualité, car le durcissement ne peut pas être complété et les défenses ne pourront pas fournir la performance requise (voir figure 3).

La pression, la température et la durée doivent être ajustées de manière individuelle au type de défense, au degré de dureté nécessaire et à sa taille. L'évaluation des paramètres adéquats pour le produit en caoutchouc respectif doit être confiée à un fabricant expérimenté, car les conséquences d'une manipulation incorrecte peuvent être très graves.

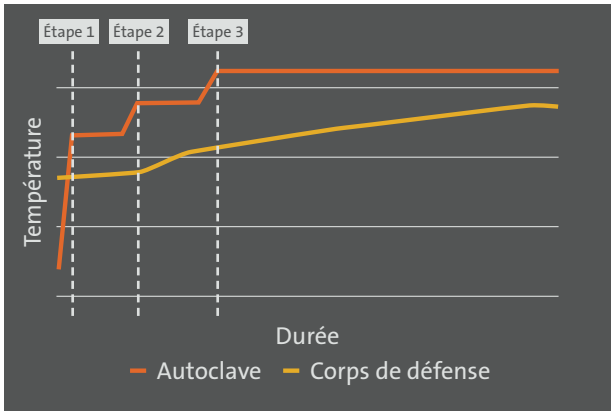


Figure 2 : Augmentation de la température durant le durcissement

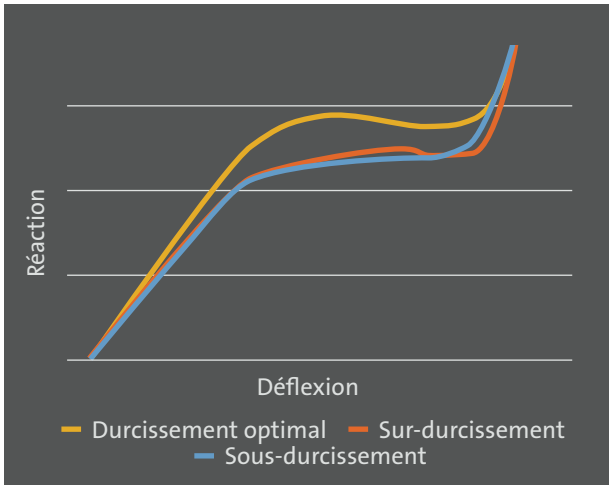


Figure 3 : Impact du durcissement sur la performance

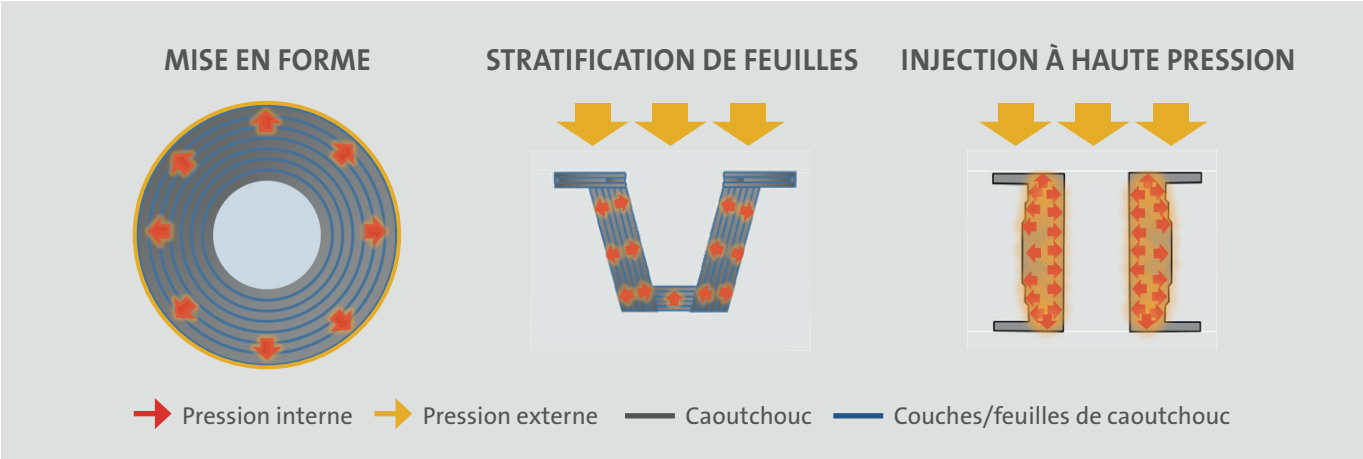


Figure 1 : Pression externe et interne durant le durcissement

B. Fabrication – Quand la magie opère.

Comme discuté dans le Dossier Technique SFT précédent, le processus de mélange complet, où le mélange de caoutchouc, les agents de remplissage renforcés, l'huile de procédé et les additifs chimiques sont mélangés avec du sulfure, donne le composé en caoutchouc fini non vulcanisé. Le composé en caoutchouc est stocké sous forme de feuilles pliées non découpées qui passent alors à l'étape suivante cruciale du procédé de fabrication : lui donner la forme caractéristique de la défense.

Il faut noter qu'il existe différentes méthodes qui peuvent être utilisées pour produire exactement le même type de défense. **Cependant, toutes les méthodes ne produisent pas la même qualité, c'est pourquoi les fabricants avisés choisissent la procédure idéale afin d'atteindre la meilleure qualité produit possible.** De plus, la méthode pour la fabrication de défense est déterminée par le type de défense, la performance attendue et donc, les composés respectifs.

Le procédé de fabrication le plus habituel pour les défenses de haute performance est l'insertion ou l'injection des composés dans un moule. Il existe deux types de moules : les moules conventionnels et les moules à enveloppement. Les deux sont constitués d'une cavité fermée par une contrepartie, mais les moules à enveloppement ont deux parois externes en plus pour permettre la circulation de vapeur durant le durcissement. Chaque type peut être verrouillé par des boulons pour éviter l'expansion du caoutchouc lors de l'ouverture du moule. Si cela est impossible, les moules doivent être placés dans une presse durant le durcissement.

Lorsqu'un moule est utilisé, il est nécessaire d'y insérer la quantité appropriée de caoutchouc. Si le remplissage est insuffisant, la pression interne sera limitée, ce qui provoque une série de défauts à l'intérieur de la défense et une faible qualité de produit. Si trop de caoutchouc est inséré en une fois, le moule ne pourra pas être fermé correctement, ce qui augmentera les coûts et endommagera probablement l'équipement.

D'autres méthodes de fabrication existent, telles que la mise en forme du composé autour d'un mandrin ou l'extrusion à travers un moule.

L'illustration en page 6 montre différentes méthodes utilisées dans la fabrication de défense, présentant les avantages, les types de défenses qui s'y appliquent, les possibles inconvénients et les particularités en matière de pression, de température et de durée.



Les moules à enveloppement avec des boulons durant l'injection de caoutchouc à haute pression.



Fermeture d'un moule avec une contrepartie avant le durcissement.

MÉTHODES DE FABRICATION

01 Moulage par injection à haute pression



- Le moulage par injection à haute pression est un procédé de fabrication très efficace pour les moules conventionnels et à enveloppement, une méthode utilisée par les producteurs sophistiqués et modernes. Le moule est fermé par sa contrepartie. Après quoi, le caoutchouc préchauffé est injecté dans le moule à haute pression.
- Il peut généralement être utilisé pour la fabrication de tous types de défenses moulées, spécialement les défenses tronconiques, les défenses cellulaires et les défenses à jambage.
- + La quantité de caoutchouc injectée dans le moule à haute pression peut être contrôlée avec précision, ce qui permet de contrôler correctement le procédé de production.
- + Très efficace, cycles de production courts, température constante et régulière durant tout le procédé.

Le moulage par injection à haute pression est une méthode qui requiert des opérateurs expérimentés, des équipements avancés et une technologie de contrôle du procédé pour maintenir la pression, la température et la vitesse adéquates. Cependant, si elle est développée correctement et automatisée, la méthode de moulage par injection à haute pression se transforme en un procédé extrêmement efficace, qui permet une production en masse avec une performance extraordinaire. À côté des autres procédés, le moulage par injection à haute pression s'est avéré être très efficace et est devenu la méthode de choix pour une fabrication de haute qualité.

02 Moulage par compression/Moulage par stratification de feuilles



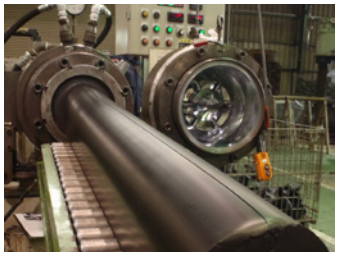
- Après le moulage par injection, l'une des méthodes de moulage les plus communes est : des feuilles préchauffées sont manuellement empilées dans un moule qui est ensuite fermé par sa contrepartie.
- Méthode surtout utilisée pour les défenses en V.
- Contrôle de la pression limitée dans le moule, cette méthode n'est donc pas adaptée à certains produits. Le moule ouvert demande une quantité supplémentaire de caoutchouc pour être complètement rempli.
- + Cette méthode est simple et rentable, comparée à d'autres méthodes, mais peut compromettre la qualité et la durabilité.

03 Enrobage



- Les feuilles de caoutchouc sont enroulées autour d'un mandrin et empilées les unes sur les autres, alors que le mandrin continue à tourner. Cette procédure se répète jusqu'à obtenir le diamètre extérieur et la forme désirée.
- La méthode d'enrobage est normalement utilisée pour la fabrication de défenses cylindriques. Aucun moule n'est nécessaire pour cette méthode.
- − Les valeurs de pression sont plus faibles que celles des autres méthodes de moulage, ce qui la rend spécialement adaptée au froissement.
- − Cette méthode n'est pas adaptée aux défenses avec des plaques d'acier noyées.

04 Extrusion



- Le caoutchouc est extrudé à travers un moule qui permet de créer des profils de défense continue avec une forme régulière. Cette méthode utilise des pressions nettement inférieures à celles des autres procédés de fabrication.
- Elle est utilisée pour la fabrication de défenses type D, rectangulaire ou autres profils de défense.
- + Le débit est continu et facilement gérable pour fournir des formes de n'importe quelle longueur.
- − Elle ne peut pas être utilisée pour tous les composés en caoutchouc.
- − Cette méthode n'est pas adaptée aux défenses avec des plaques d'acier noyées.

C. Durcissement – La métamorphose du caoutchouc.

Dans cette section, l'une des étapes de transformation les plus importantes du procédé de production de défense est abordée : Le durcissement du caoutchouc, également connu comme la vulcanisation.

Le durcissement est la transformation du caoutchouc depuis un état plastique à un état élastique à l'aide de la pression et la chaleur.

Cela peut être comparé à la cuisson d'un œuf : le caoutchouc ne peut être vulcanisé qu'une seule fois et la transformation d'un état plastique à un état élastique est irréversible.

Le composé en caoutchouc non vulcanisé contient du sulfure et d'autres additifs qui, une fois chauffés, initialisent le procédé de vulcanisation. Durant ce procédé, les chaînes isolées de polymère en caoutchouc créent une structure réticulée tridimensionnelle, qui est la base de la réalisation d'une défense en caoutchouc. **Le caoutchouc est soumis à une charge tridimensionnelle durant chaque déflexion de la défense, quel que soit le modèle, la forme ou la géométrie de la défense.** La structure volumétrique qui résulte de la composition tridimensionnelle fournit également des propriétés mécaniques à la défense, telles que la résistance à la traction, aux cisaillements et à la rigidité. **Il est nécessaire de souligner que sans durcissement, aucune défense ne fonctionne correctement. La même chose s'applique à tous les autres produits en caoutchouc.**

Durant le procédé de durcissement, le caoutchouc non vulcanisé est exposé à la chaleur, généralement sous forme de vapeur, durant une période de temps prédéfinie individuellement. Cela se produit dans un vulcaniseur et, parfois, à l'aide d'une pression externe supplémentaire. **Le vulcaniseur, également connu sous le nom d'autoclave, offre un environnement fermé et est utilisé lors de la plupart des procédés de durcissement.** Les défenses enrobées ou extrudées sont durcies à l'intérieur d'une chambre, alors qu'une pression externe supplémentaire est appliquée aux défenses moulées par une presse intégrée à l'autoclave. Ceci est réalisé soit en générant une pression supplémentaire sur les moules fermés par des boulons, obtenant ainsi une meilleure qualité, soit sur les moules fermés qui n'ont pas de boulons.

Les moules à enveloppement n'ont pas besoin d'autoclave, car le durcissement se fait à l'intérieur de la double paroi du moule. Même si la plupart des moules à enveloppement sont fermés par des boulons, ils sont placés à l'intérieur d'une presse pour pouvoir appliquer une pression supplémentaire et obtenir une meilleure qualité.

Tout comme pour la fabrication, les méthodes de durcissement sont déterminées par le type de défense. Les paramètres de durcissement doivent être définis en fonction des exigences individuelles du projet de défense. Trouver le chemin optimal qui aide le fabricant à atteindre la meilleure qualité est la clef du durcissement et de toutes les autres étapes durant la production d'une défense.



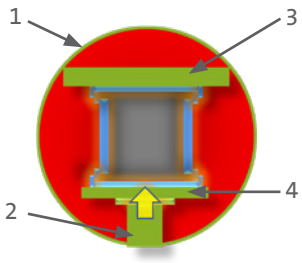
Autoclave



Moule à enveloppement avec boulons

MÉTHODES DE DURCISSEMENT

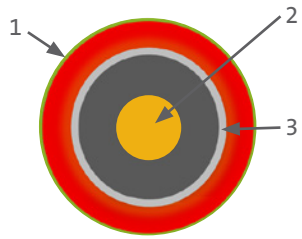
01 Autoclave utilisé pour les défenses moulées



1 Autoclave
2 Presse
3 Plaque supérieure
4 Plaque inférieure

- Les moules contenant le caoutchouc non vulcanisé sont placés dans une chambre fermée de l'autoclave, où ils sont exposés à la vapeur et une pression externe est appliquée sur le moule par une presse intégrée.
- L'utilisation de grands moules étant restreinte par les dimensions, cette méthode ne peut pas être utilisée pour des défenses de grande taille.
+ Des valeurs de température et de pression correctes sont générées par l'autoclave, ce qui apporte les meilleures propriétés physiques possible et assure une stabilité de la qualité du produit.
+ Contrôle facile du procédé.

02 Autoclave pour défenses enrobées et extrudées

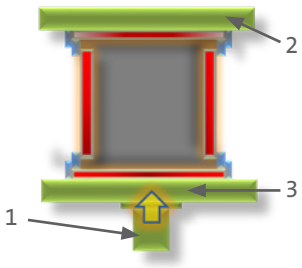


1 Autoclave
2 Mandrin tube
3 Bandes de nylon

**L'illustration montre une défense enrobée*

- Les feuilles de caoutchouc enroulées sur un mandrin sont couvertes par des bandes de nylon humide et ensuite durcies dans l'autoclave. Les bandes de nylon rétrécissent lorsqu'elles sont chauffées et appliquent ainsi une pression sur le caoutchouc. Le mandrin est placé sur une unité mobile, évitant ainsi que la forme cylindrique ne se déforme.
- Les défenses extrudées sont durcies à l'intérieur de l'autoclave.
- Aucune presse n'est utilisée, une pression plus faible que d'autres méthodes est appliquée, ce qui peut provoquer des vides.
− Tendance aux défauts en raison de la faible pression.

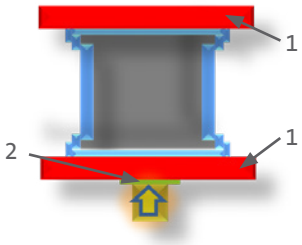
03 Enveloppement thermique + Presse



1 Presse
2 Plaque supérieure
3 Plaque inférieure

- Pour le procédé de durcissement, la vapeur passe par une double paroi pour chauffer le caoutchouc à la température de durcissement désirée.
- La température et le temps de durcissement de chaque partie du moule peuvent être contrôlés indépendamment pour obtenir une répartition uniforme de la chaleur et ainsi, atteindre toutes les parties de la défense.
+ Actuellement, la méthode la mieux adaptée aux très grandes défenses, mais également disponible pour les défenses plus petites.
+ Contrôle individuel de la température de durcissement.

04 Presse à plaques chaudes



1 Plaques chaudes
2 Presse

- La machine de presse se compose d'une plaque chaude sur le dessus et sur le dessous, qui appliquent chacune une pression et de la chaleur pour la vulcanisation.
- Étant donné que la chaleur n'émane que sur le dessus et le dessous, la conduction de la chaleur horizontale n'est pas idéale.
- Pour les moules épais des grandes défenses, la dissipation de la chaleur est insuffisante, c'est pourquoi cette méthode est essentiellement utilisée pour les petites défenses.

Équipement — Moule — Caoutchouc — Chaleur

Comme mentionné ci-dessus, plusieurs erreurs peuvent survenir pendant les procédés de fabrication et de durcissement, telles que l'application d'une température trop élevée ou trop faible, un moule trop peu rempli en caoutchouc ou une combinaison à cause du manque d'expérience des fabricants et des opérateurs. Les erreurs provoquent des défauts, parfois interdépendants, tels que :

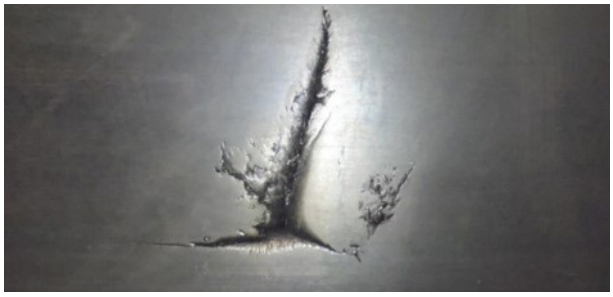
- Les vides
- Le délaminage
- Les défauts superficiels, tels que de larges marques de flux
- L'adhérence insuffisante entre la plaque en acier et le caoutchouc.

Ces défauts entraînent tous une dégradation de la performance et une diminution de la durabilité de la défense et augmentent les risques d'accidents ou d'immobilisation du poste d'accostage. Si la défense en caoutchouc ne fonctionne pas correctement, la sécurité des opérations marines ne peut pas être garantie.

Le tableau 1 fournit une vue générale des relations entre méthodes de fabrication et de durcissement.



Délaminage



Défaut en surface



Adhérence insuffisante

MÉTHODE DE FABRICATION	TYPE DE DÉFENSE	PROCÉDÉ DE FABRICATION	MÉTHODE DE DURCISSEMENT
INJECTION À HAUTE PRESSION	Tous types, plus adapté aux défenses coniques, cellulaires et défenses à jambage	Le caoutchouc est automatiquement injecté dans le moule	Autoclave ou en fonction de la taille : enveloppement thermique
COMPRESSION	Normalement défense en V	Les feuilles sont placées manuellement dans un moule	Autoclave ou presse à plaques chaudes
ENROBAGE	Défenses cylindriques	Le caoutchouc est mis en forme autour d'un mandrin rotatif	Autoclave
EXTRUSION	Profils de défense, toutes longueurs	Le caoutchouc est extrudé à travers un moule	Autoclave

Tableau 1 : Vue générale des méthodes de fabrication et de durcissement

Conclusion.

Le Dossier Technique nº 3 de cette série conclut que l'importance de la fabrication et du durcissement dans le secteur de la fabrication de défenses ne doit pas être négligée. Même s'il existe différentes manières de réaliser ces deux étapes, le fabricant est responsable de choisir les procédés optimaux. La pression, la température et la durée sont des facteurs décisifs pour obtenir la meilleure qualité, spécialement en ce qui concerne la prévention des défauts les plus fréquents sur le produit final. La mauvaise manipulation de ces paramètres provoque des dommages et des erreurs sur les défenses durant les opérations. **À une époque où la transformation numérique et les technologies innovantes prennent de plus en plus d'importance, certaines choses ne peuvent être ni automatisées, ni remplacées : le savoir-faire pratique et l'expérience de décennies de connaissances accumulées dans une industrie complexe comme l'est la fabrication de défense.** Comme pour les autres procédures de l'industrie des défenses en caoutchouc, il n'y a pas d'option universelle pour la fabrication et le durcissement. La complexité et l'interdépendance des différentes étapes dépendent de ce type de savoir-faire accumulé avec le temps. En tant que fabricant de défenses avec une large connaissance et une expérience inégalée dans la production de caoutchouc, le Groupe ShibataFenderTeam reconnait que toutes les étapes de production, le choix de la matière première et la conception des défenses sont étroitement connectés et ont été choisis individuellement pour évaluer l'unicité de chaque projet. Cette approche réellement holistique est l'une de nos principales responsabilités, dans le respect des normes et directives internationales.

À travers nos Dossiers Techniques, nous souhaitons promouvoir une plus grande transparence dans la production de défenses, visant à garantir les normes de qualité, qui découlent d'un engagement en faveur de produits de haute performance et d'un grand sens des responsabilités.

Le Dossier Technique final nº 4 concernant les tests détaillera les différentes méthodes d'essais pour mettre en lumière la manière dont les propriétés physiques d'une défense de haute qualité sont atteintes.

Références :
Toutes les références dans ce document de présentation technique proviennent de :
- Abts, G. (2007). Einführung in die Kautschuktechnologie *(Introduction à la technologie du caoutchouc)*. München: Hanser
- Hofmann, W. & Gupta, H. (2009). Handbuch der Kautschuktechnologie. Band 3 Mischungsentwicklung und Verarbeitung *(Guide de référence à la technologie du caoutchouc. Volume 3 Développement et traitement du composé)*. Ratingen: Gupta

Remarque :

- **Le moulage par injection à haute pression permet de fabriquer des produits de meilleure qualité.**
- **La pression, la température et la durée sont des facteurs clefs pour la fabrication et le durcissement. Ces trois paramètres sont dépendants les uns des autres.**
- **L'expérience et la connaissance pratique sont des facteurs fondamentaux à chacune des étapes de production.**

Groupe ShibataFenderTeam.

Le Groupe ShibataFenderTeam est l'un des principaux fabricants internationaux de défenses. Jouissant d'une expérience de plus de 50 ans dans la production de défenses, il compte plus de 100 000 défenses en service dans le monde entier et est fort de 90 ans d'expertise en matière de produits en caoutchouc. Shibata Industrial a son siège au Japon et est responsable de la production et de la recherche et développement, tandis que ShibataFenderTeam, installé en Allemagne, est chargé de la conception et de la vente. Leurs bureaux régionaux aux États-Unis, en Europe et en Asie s'appuient sur un vaste réseau de représentants locaux bien implantés, présents sur six continents. La création et la protection de valeur, voilà l'essence et la finalité de nos produits. Nous fournissons l'éventail complet de produits de défenses maritimes : des simples profils en caoutchouc à des systèmes extrêmement sophistiqués ainsi que des accessoires et des fixations. L'excellence de l'ingénierie signifie que nos partenaires peuvent être sûrs que nous leur offrons le meilleur de nous-mêmes dans tous les domaines. L'expérience nous a permis de nous forger une réputation de partenaire fiable et digne de confiance sur le marché des ports internationaux, petits ports et voies navigables.

www.sft.group

DOSSIER TECHNIQUE #4

TESTS.

UNE APPROCHE FONDEE SUR LES MEILLEURES PRATIQUES



SHIBATAFENDERTEAM

on the safe side

Sommaire.

Dossiers Techniques de SFT 38

Dossiers Techniques de SFT – #4 38

A. Aperçu des différentes méthodes de test 39

- Tests fondamentaux 39
- Tests de durabilité 39
- Tests d'homologation de type 40
- Tests de vérification 40

B. Tests de vérification – Les détails 41

- Tests des matériaux 41
- Traçabilité 42
- Tests de performance 43
- Vérification des dimensions 46
- Contrôle visuel 46
- Guide des meilleures pratiques de SFT pour les questions fréquemment posées 46

C. Informations supplémentaires – Défenses en mousse, défenses pneumatiques et boucliers en acier 47

Conclusion 49

Le Groupe ShibataFenderTeam 49

Résumé.

La quatrième et dernière partie de la série de Dossiers Techniques de SFT fait suite aux trois parties précédentes, #1 à 3, qui présentaient des illustrations détaillées de la composition, du mélange, de la fabrication et du durcissement. Le Dossier Technique #4 de SFT complète la série avec un examen approfondi des méthodes de test des systèmes de défense, des approches fondées sur les meilleures pratiques permettant de vérifier les propriétés requises en matière de performance et la durabilité d'une défense commerciale. Le dossier souligne l'importance des tests en expliquant de manière transparente la façon d'interpréter les résultats des différents tests. Il peut servir de guide pratique destiné aux clients sur l'approche idéale du programme complexe des tests de défenses, en se basant sur le point de vue d'un fabricant expérimenté.

L'aperçu des quatre méthodes de test – tests fondamentaux, de durabilité, d'homologation de type et de vérification – présente des informations précieuses sur les pratiques actuelles de l'industrie et les connaissances essentielles sur les tests de défenses en général.

Le dossier porte principalement sur les tests de vérification, car il s'agit du domaine de test le plus pertinent pour garantir au client que la défense finale a été fabriquée conformément au produit commandé. Les cinq différentes parties des tests de vérification (tests de matériaux, traçabilité, tests de performance, vérification des dimensions et contrôle visuel) sont expliquées, y compris les facteurs les plus importants à prendre en compte pour les tests de performance. Reflétant les exigences de l'industrie, des informations pratiques sur les questions les plus fréquentes et les plus importantes concernant les facteurs de correction, la manière de corriger les déviations et l'obtention des résultats des tests ont été incluses dans une section Questions et Réponses.

En outre, le dossier #4 traite des éléments essentiels des défenses pneumatiques, des défenses en mousse et des boucliers en acier pour une couverture du sujet à 360 degrés.



Série de Dossiers Techniques SFT:
#1 Composition | #2 Mélange | #3 Durcissement | #4 Tests

Dossiers Techniques de SFT.

Les défenses étant conçues pour créer un environnement sûr pour les navires, les passagers et les infrastructures portuaires, la sécurité, la fiabilité et la durabilité sont extrêmement importantes pendant la durée de vie d'une défense et au-delà. **La qualité d'une défense se mesure exclusivement par ses propriétés physiques et ses performances dans son domaine d'application spécifique.** Chaque projet de défense est unique et constitue une solution sur mesure adaptée à chaque cas et scénario. **Les Dossiers Techniques visent à partager avec l'industrie les connaissances et l'expertise approfondies de SFT et à examiner de près ce qui fait précisément une défense de qualité - des matériaux bruts et des processus de production aux tests.**

Avec la série de dossiers techniques de SFT (Composition. Une route sinueuse, Mélange. Processus étape par étape, Fabrication et durcissement. Perfection avancée), des méthodes de fabrication pertinentes ont été décrites et il a été démontré qu'il n'existe aucune ligne directrice ou norme spécifiant la composition chimique du caoutchouc ou de dispositions contraignantes concernant les processus de mélange et de fabrication. **Les directives et lignes directrices internationales telles que AIPCN2002, ASTM D2000, EAU 2004, ROM 2.0-11 (2012) ou BS6349 (2014) garantissent toutefois que les défenses se comportent comme prévu lorsqu'elles sont installées au poste d'accostage et définissent les qualités physiques indispensables des défenses en caoutchouc. C'est pourquoi les résultats des différentes méthodes de test sont si importants: ils constituent la preuve finale et essentielle qu'une défense possède les propriétés physiques requises et que c'est un produit de grande qualité, prêt à relever tous les défis d'accostage qu'il peut rencontrer.** Le Dossier Technique sur les tests des défenses conclut la série de quatre Dossiers Techniques de SFT comme l'une des étapes les plus critiques de la fabrication des défenses.



Série de Dossiers Techniques SFT:
#1 Composition des ingrédients | #2 Mélange | #3 Durcissement | #Tests

En tant que fabricant expérimenté, le groupe SFT considère que l'une de ses principales responsabilités est de contribuer à l'établissement de normes de qualité élevées dans l'industrie, grâce à son ferme engagement en faveur d'une conception et d'une fabrication holistiques des défenses.

Dossiers Techniques de SFT – #4.

Les caractéristiques d'un composé en caoutchouc et son comportement pendant le processus de mélange, de fabrication et de durcissement sont complexes. Comme nous l'avons appris dans les précédents Dossiers Techniques de SFT, les propriétés physiques requises par une défense peuvent varier en fonction du projet, c'est pourquoi elles sont fabriquées spécifiquement pour chaque mission. **Le Dossier Technique #4 fournit des conseils et des exemples de meilleures pratiques concernant les différentes méthodes d'essai et la façon dont elles sont mises en œuvre.** Il est divisé en trois sections: un aperçu des différentes méthodes de test (section A), une attention particulière aux tests de vérification (section B) et des informations complémentaires concernant les défenses pneumatiques, les défenses en mousse et les boucliers en acier (section C). Le dossier donne la priorité aux tests de vérification avec des conseils pratiques sur ce qu'il faut prendre en compte du point de vue du client et un guide sur les questions fréquentes concernant les facteurs de correction, les déviations et la façon de relever certains défis susceptibles de survenir au cours du processus de tests.

Le document contient des informations essentielles sur la pratique des tests de défense selon les lignes directrices et normes internationales actuelles et démontre l'approche de tests recommandée du point de vue d'un fabricant de défense digne de confiance, fiable et expérimenté.

A. Aperçu des différentes méthodes de test.

Il existe un certain nombre de méthodes de test différentes à des fins de test différentes, par exemple pour obtenir une homologation de type pour une défense, pour établir des valeurs standard mentionnées dans le catalogue, pour tester la durabilité, les propriétés physiques ou les performances. **Les différentes méthodes reposent sur des normes internationales et des recommandations largement reconnues. Certains tests sont effectués avant la commande du client, par exemple pendant la phase de développement de la défense.** Les tests de vérification permettent au client d'examiner la défense finale et de vérifier qu'il reçoit exactement ce qu'il a commandé. Quatre méthodes de test différentes sont présentées ci-dessous.

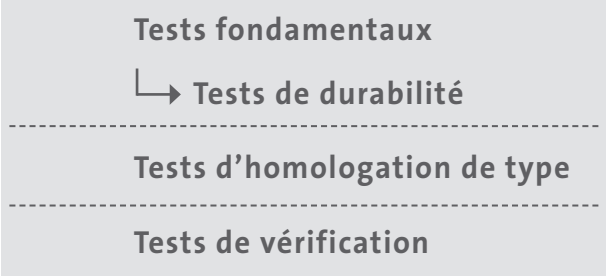


Figure 1: Aperçu des différentes méthodes de tests

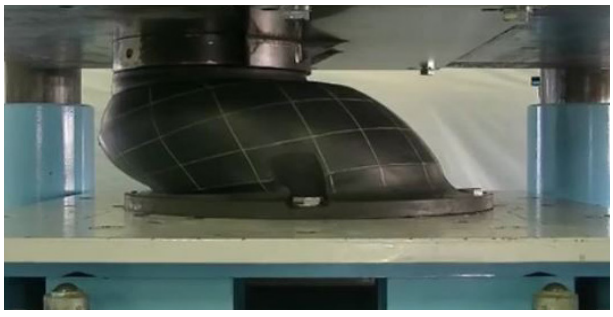
Tests fondamentaux

Les tests fondamentaux sont réalisés à l'aide d'un modèle réduit afin d'établir les données de performance du catalogue et de déterminer les facteurs de correction qui constituent les données fondamentales pour l'homologation de type d'un produit. Comme ces essais sont conçus pour tester, au minimum, les types de conditions et de situations définis dans les recommandations de l'industrie, les tests fondamentaux ne peuvent pas être réalisés pour chaque projet de défense en raison du temps et du coût élevés qu'ils impliquent. Les tests fondamentaux sont principalement appliqués au développement des défenses pour obtenir des données techniques générales ou une spécification unique des valeurs du catalogue. Les données publiées sur les tests fondamentaux comprennent les performances standard, les facteurs de correction (par exemple, la température, la vitesse, l'angle) et les résultats des tests, tandis que les résultats de la recherche et du développement technologique sont utilisés exclusivement par le fabricant pour améliorer le produit et restent confidentiels.

Tests de durabilité

Le test de durabilité, qui fait partie des essais fondamentaux, est effectué une seule fois par type de défense sur une défense dont la taille n'est pas inférieure à celle de la plus petite défense commercialisée du même modèle. **La procédure de test impose à la défense une fatigue à long terme sur une courte période et évalue sa durabilité. L'échantillon de défense stabilisé en température est exposé à une compression répétitive jusqu'à sa déflexion nominale, ce qui représente 3,000 cycles de compression ou plus à une durée maximale de 150 secondes par cycle, conformément à l'accord entre le fabricant et le client ou à la ligne directrice applicable.** Les tests de durabilité ne peuvent généralement pas être effectués sur des défenses grandeur nature. Les critères de réussite/échec fixés pour les tests de durabilité exigent que les défenses testées ne présentent pas de craquelures visibles à l'œil nu. **Tant que le type de défense ou la méthode de production n'a pas changé, il n'est pas nécessaire d'effectuer un nouveau test pour chaque nouveau projet.**

Il est également recommandé d'effectuer un test de compression et de cisaillement combiné au lieu du test de compression simple. Ce test combine la déflexion en cisaillement à la déflexion axiale. Chez SFT, l'équipement combiné de test de cisaillement et de compression permet de tester presque toutes les tailles de défense, mais le nombre de cycles de compression est intrinsèquement limité pour les défenses de plus grandes dimensions. Pour les modèles réduits, 25,000 cycles d'essai et plus sont possibles et ont déjà été testés avec succès dans le cadre d'un audit externe à plein temps. **En général, le coût des tests de durabilité ne doit pas être sous-estimé, car certains protocoles de test peuvent entraîner des dizaines de milliers de dollars de coûts supplémentaires.** Avant que ce test ne soit exigé dans les spécifications, le client doit consulter le fabricant pour obtenir des précisions et des tarifs afin de dégager le budget nécessaire à cet effet.



Test de cisaillement et de compression

Tests d'homologation de type

Afin d'obtenir une homologation de produit ou un certificat d'examen de type pour une défense, il est nécessaire qu'une tierce partie accréditée atteste et vérifie les tests respectifs. **La portée minimale des tests comprend les performances standard, la durabilité, les facteurs de correction et les propriétés physiques telles que publiées dans le catalogue.** L'homologation de type d'un produit est généralement valable cinq ans et doit être renouvelée après la période de validité. **Il faut noter que seuls les certificats qui ont été téléchargés sur le site web de l'organisme certificateur sont authentiques et valides.** Tout au long du cycle de validité, des évaluations périodiques doivent être effectuées pour revoir constamment les processus de fabrication.



Exemples de certificats d'examen de type de produit de SFT - pour vérification, veuillez consulter: https://approvalfinder.dnvgl.com

Tests de vérification

Les tests des défenses finales et des matériaux utilisés servent à démontrer les performances et la qualité des matériaux du produit. Les tests sont effectués sur les matériaux et les défenses réels qui sont produits pour un projet. **Une fois que les paramètres et les exigences spécifiques d'un projet ont été déterminés, il incombe au fabricant de s'assurer que les défenses finales et les matériaux utilisés sont conformes aux exigences du projet individuel du client.** Les essais de vérification permettent de s'assurer que les défenses finales ont été produites conformément aux spécifications des projets respectifs et/ou aux valeurs du catalogue.

Les tests de vérification comprennent les tests de matériaux, la traçabilité, les tests de performance, la vérification des dimensions et le contrôle visuel, qui sont traités plus en détail dans la section B du présent dossier. **Les tests des matériaux sont effectués sur les matériaux réels utilisés pour la production de la défense, tandis que les autres procédures de test sont effectuées sur la défense finale qui a été produite pour le projet. En revanche, les tests fondamentaux ou de durabilité sont généralement effectués sur un modèle réduit.**

METHODE DE TEST	DEFINITION/ OBJECTIF	TYPE DE TEST	METHODE DE DIVULGATION	PROFESSIONNEL
TESTS FONDAMENTAUX	Déterminer des données techniques générales et établir des facteurs de correction	Compression en tenant compte de différentes contraintes, matériaux, durabilité, performance, etc.	Informations fournies par le fabricant, catalogues, site web	Fabricant et/ou tierce partie
TESTS DE DURABILITE	Évaluer la durabilité	Compression répétitive jusqu'à la déflexion nominale		
TESTS D'HOMOLOGATION DE TYPE	Obtenir le certificat d'homologation	Performances standards, durabilité, facteurs de correction, propriétés physiques	Documents de certification émis par des tiers	Attesté et vérifié par une tierce partie
TESTS DE VERIFICATION	Vérifier que les défenses ont été produites conformément aux spécifications du projet ou aux valeurs du catalogue	Tests de matériaux et de performances, traçabilité, vérification des dimensions et contrôle visuel	Rapport de test du fabricant et/ou d'une tierce partie	Fabricant et/ou tierce partie

Tableau 1 : Comparaison de différentes méthodes de test

B. Tests de vérification – Les détails.

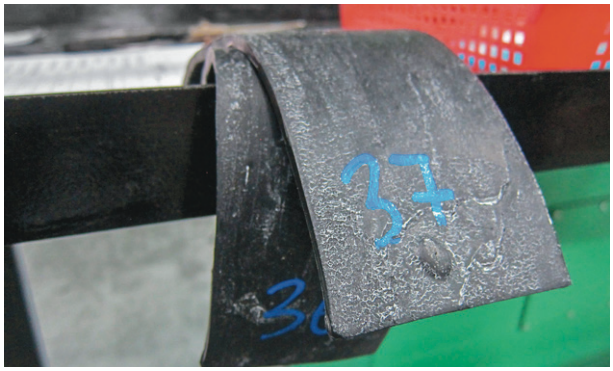
Les tests de vérification constituent la méthode permettant de déterminer que les clients reçoivent exactement ce qu'ils ont commandé. **Cette procédure de test est de la plus haute importance pour le client car elle confirme la qualité du produit avant qu'il ne soit expédié et installé au poste d'accostage.**

Il est important que le cahier des charges du projet comporte déjà les exigences du client en matière de tests et les paramètres importants liés au projet, notamment pour pouvoir budgétiser le coût des tests en amont. Il est essentiel de savoir que les exigences particulières en matière de tests ont un certain coût et il est conseillé de prévoir le budget des tests à l'avance. **Le fait d'exiger des tests au-delà des normes industrielles pèse sur le budget global du projet et dépend de la taille et de l'importance du projet** Si le client, par exemple, n'achète que deux défenses qui serviront de pièces de rechange, il ne serait pas justifié d'exiger des tests complets qui entraîneraient des dizaines de milliers de dollars de frais. Un autre facteur important est le délai de livraison: si le calendrier du projet est serré, toutes les défenses ne peuvent pas faire l'objet de tests complets, car les exigences particulières en matière de tests, et notamment les tests par des tiers, peuvent dépasser ce calendrier. **Un cahier des charges détaillé est essentiel et il est fortement recommandé de consulter un fabricant de défenses fiable et reconnu pour obtenir de l'aide et des conseils sur toutes les exigences liées au projet.**

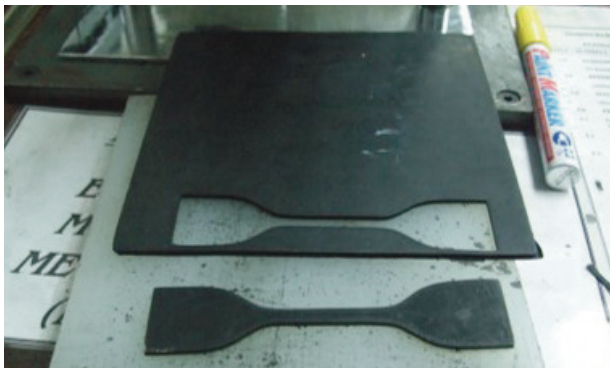
Selon les normes industrielles relatives aux tests de vérification, il existe généralement deux procédures différentes pour réaliser le test. **Les tests standards en interne peuvent être effectués par le fabricant**, ou alors le client ou le fabricant choisit une **tierce partie comme témoin des tests et les tests sont effectués dans les installations du fabricant avec l'équipement du fabricant.** La tierce partie assiste aux tests et vérifie que tous les équipements sont étalonnés et possèdent une certification valide au moment du test. **Ce processus est une bonne pratique et est recommandé contrairement à d'autres solutions individuelles pouvant être convenues entre le fabricant et le client.** Les sections suivantes décrivent les cinq différentes parties des tests de vérification: test des matériaux, traçabilité, test de performance, vérification des dimensions et contrôle visuel.

Tests des matériaux

Les composés en caoutchouc peuvent présenter des compositions chimiques très différentes en fonction des critères de performance requis, qui doivent être conformes aux normes et lignes directrices internationales telles que AIPCN2002, ASTM D2000, EAU 2004, ROM 2.0-11 (2012) ou BS6349. Ces lignes directrices garantissent qu'une défense se comporte comme prévu lorsqu'elle est installée à un poste d'accostage.



Echantillon du composé finalisé pour les tests de matériaux



Echantillon de test fabriqué à partir d'un échantillon prélevé sur le composé final

Les échantillons de caoutchouc nécessaires pour les tests de matériaux sont prélevés sur le composé finalisé et sont préparés avec précision, puis durcis en laboratoire. Ensuite, leurs propriétés physiques, notamment la résistance à la traction et à l'adhérence, la compression rémanente, la dureté, l'élongation, la résistance à la déchirure et à l'abrasion, la résistance aux produits chimiques et à l'ozone, et le vieillissement, sont testées dans des conditions de laboratoire strictes.

Les normes de test ASTM, DIN, JIS et ISO, qui sont toutes très similaires en termes de procédures et de limites, définissent la forme et l'épaisseur exactes des échantillons de caoutchouc et les procédures de test. La plage de référence pour les résultats des tests repose généralement sur la norme ASTM D2000. **Il est essentiel de respecter scrupuleusement la norme concernée, qui s'applique non seulement à la préparation des échantillons de test, mais aussi à leur stockage correct et au délai dans lequel ils doivent être testés après leur production, afin d'éviter des résultats de test hors de la plage de référence et des variations par rapport aux résultats de test du fabricant.** Des informations détaillées concernant les exigences de test peuvent être obtenues auprès du fabricant.

Traçabilité

La traçabilité est effectuée pour vérifier que la défense finale a été fabriquée à partir du même composé qui a servi pour tester les propriétés physiques lors des tests de matériaux. À cette fin, un test ATG (analyse thermogravimétrique) doit être réalisé pour comparer la composition des deux échantillons de caoutchouc provenant de la défense finale et du test de matériaux. La seule chose importante est que les valeurs correspondent/soient cohérentes, quelle que soit la valeur réelle. La configuration du test est la suivante: On prélève un petit échantillon sur la défense finale et on effectue un test ATG. Un test ATG est une méthode d'analyse thermique dans laquelle l'échantillon de caoutchouc est pesé en continu pendant le chauffage. Comme les différents composants brûlent à des températures différentes, la réduction de poids donne une indication sur la composition de l'échantillon. Ces résultats sont comparés au test ATG qui avait été réalisé à partir de l'échantillon de caoutchouc du composé finalisé, qui avait été utilisé au départ pour les tests de matériaux. **Si les résultats des deux tests ATG concordent, on vérifie que la défense finale est constituée du même composé dont les propriétés physiques ont été testées lors des tests de matériaux.**

Il convient toutefois de noter que des variations dans les laboratoires ou entre les laboratoires peuvent se produire. Les conditions de laboratoire peuvent varier entre le laboratoire qui effectue le test ATG sur l'échantillon de test du matériau (généralement le fabricant) et le laboratoire qui effectue le test ATG sur l'échantillon final de la défense (généralement un institut mandaté par le client). D'autre part, de petites différences dans le corps de la défense peuvent se produire – notamment en raison des variations de mélange – de sorte que la composition de l'échantillon

TESTS DES MATÉRIAUX	TRAÇABILITÉ
Effectué par le fabricant	Effectué par le fabricant ou un institut indépendant
L'échantillon-test est prélevé sur le composé finalisé	Après le durcissement, un petit échantillon est prélevé sur la défense finale
Les échantillons de test sont préparés avec précision, conformément aux normes	L'échantillon doit être de petite taille pour ne pas endommager la défense, généralement 50-100 g
Les échantillons de test sont durcis en laboratoire	
Les échantillons de test sont testés pour leurs propriétés physiques dans des conditions de laboratoire	
Le test ATG est effectué sur l'échantillon du composé	Le test ATG est effectué sur un échantillon de la défense finale
L'extraction Soxhlet est recommandée dans tous les cas, la procédure doit être la même pour les deux essais	
Les résultats des deux tests ATG sont comparés pour vérifier s'ils correspondent	
Cohérence des résultats des essais: la défense finale a été fabriquée à partir du composé avec lequel les tests sur les matériaux ont été effectués	

Tableau 2 : Processus de tests des matériaux et de traçabilité

prélevé pour la traçabilité peut légèrement différer de celle de l'échantillon prélevé dans le lot. Ces irrégularités sont courantes et n'affectent pas les performances de la défense. Par ailleurs, on peut également s'attendre à l'apparition des variations décrites ci-dessus si le fabricant et l'institut effectuent tous deux un essai ATG sur des échantillons provenant de la même défense.

Si le test de traçabilité de la défense finale n'est pas effectué par le fabricant, le client doit s'assurer qu'il est réalisé par un laboratoire accrédité (par exemple, certifié selon la norme ISO 17025), spécialisé dans les tests de caoutchouc. En outre, il est important que le laboratoire soit indépendant et que l'équipement de test soit soigneusement étalonné.

Il convient toutefois de noter que l'ATG n'est qu'une analyse quantitative et qu'elle ne fournit aucune indication sur la qualité de la défense.

Avant d'effectuer l'ATG, il faut procéder à une extraction Soxhlet en ajoutant un solvant, tel que de l'acétone, au caoutchouc, ce qui permet d'en extraire les substances chimiques. Si cette étape est omise, la teneur en polymère présente des valeurs plus élevées qu'à la normale. **L'extraction Soxhlet est recommandée pour obtenir des résultats plus précis et pour optimiser la comparabilité entre le test de l'échantillon de caoutchouc et celui de la défense finale.** Les deux tests doivent obligatoirement suivre la même règle – soit une extraction Soxhlet est effectuée pour les deux échantillons, soit pour aucun des deux, sinon les résultats différeront considérablement. Il est donc extrêmement important que le client ou le laboratoire qui effectue le test sur la défense finale sache si l'extraction Soxhlet a été effectuée par le fabricant.

Le secteur industriel se demande parfois pourquoi les essais de propriétés physiques ne devraient pas être effectués sur la défense finale elle-même au lieu de préparer des échantillons d'essai à partir du composé avant la production. Tester les propriétés physiques à partir de défenses finales est inhabituel et extrêmement difficile, car cela impliquerait de découper un grand morceau d'une défense finale, ce qui pourrait endommager la défense. Cela s'explique par le fait qu'il faut beaucoup plus de matériau pour tester les propriétés physiques que pour tester la traçabilité (ATG). Il faut également tenir compte des variations de 15 à 20 % par rapport aux valeurs du catalogue, car il existe une grande différence entre les résultats obtenus à partir d'un morceau du corps de la défense ou d'une plaque d'essai durcie et préparée dans des conditions de laboratoire. En outre, le durcissement d'une défense est différent de celui d'un petit échantillon d'essai - il est presque impossible de faire correspondre les propriétés physiques à celles d'une section quelconque du produit.*

Test de performance

Les tests de performance sont également connus sous le nom de tests d'acceptation en usine (FAT) et sont effectués sur le produit final afin de s'assurer qu'il répond aux exigences de performance. En général, et si le client et le fabricant n'en conviennent pas autrement, 10 % des défenses finales sont testées.

Les défenses qui sont testées sont choisies au hasard, ce qui peut être fait par le client s'il supervise le processus des tests. Elles sont comprimées dans une grande presse de test ou un bâti de test jusqu'à leur déflexion nominale, tandis que la force de réaction est mesurée à l'aide de cellules de charge et/ou de capteurs de pression. Il est particulièrement important pour les défenses de grande taille que le bâti de test ait une course suffisante pour atteindre la déflexion requise de la défense. **Il existe seulement un nombre limité de bâtis de test disponibles dans le monde pour les défenses de grande taille, c'est pourquoi les tests de performance sont généralement effectués dans les installations du fabricant.**



Test de performance

* Normes techniques et commentaires sur les installations portuaires au Japon

LES QUATRE FACTEURS LES PLUS IMPORTANTS A PRENDRE EN COMPTE POUR LES TESTS DE PERFORMANCE

01 Stabilisation de la température

Après le durcissement d'une défense, la chaleur persiste dans le corps en caoutchouc et il est important que la température de la défense soit stabilisée avant le test de performance. Cela signifie qu'une défense est exposée à une certaine température pendant un certain temps afin d'obtenir une répartition uniforme de la température sur toute la défense.

La température uniforme peut être obtenue en laissant la défense à la température ambiante de l'usine de fabrication ou en utilisant une chambre de stabilisation de la température. Des chambres de stabilisation de la température existent sur le site du fabricant, mais l'espace est limité de sorte que seules quelques défenses peuvent être stabilisées à la fois. Par conséquent, si des températures de stabilisation spécifiques sont requises, la durée des essais peut se voir prolongée de plusieurs semaines.
Exemple: À sa sortie du moule, il faut environ une journée pour que l'ensemble d'une défense Cone 600 atteigne la même température de l'extérieur au cœur, tandis qu'il faut jusqu'à 7 jours pour une défense Cone 1800.



Chambre de stabilisation de la température

Deux options sont disponibles pour les tests de performance :

- Les défenses sont stabilisées et testées à température ambiante. Les résultats des tests sont ajustés à la ligne directrice/norme ou à une température spécifique au projet en appliquant des facteurs de température. **Cette méthode est connue pour être la plus efficace et la plus économique.**
- Les défenses sont stabilisées dans la chambre de stabilisation de la température selon les lignes directrices ou les spécificités du projet sans tenir compte des facteurs de température. La durée du test peut donc augmenter considérablement, de même que les frais y afférents.

02 Rodage de la défense

Le cycle de rodage doit consister habituellement en, au minimum, une compression complète jusqu'à la déflexion nominale de la défense après le processus de fabrication. La force de réaction de cette première compression varie par rapport à la valeur du catalogue et n'est pas représentative des performances de la défense pendant sa durée de vie et au-delà. Le cycle de rodage est généralement recommandé pour les défenses de grande taille avec des forces de réaction élevées. Les défenses moulées peuvent présenter des adhérences fragiles ou temporaires qui doivent être rompues pour que la défense puisse atteindre ses propriétés de performance à long terme.

Les défenses qui ont été choisies pour les tests de performance subissent généralement un minimum de trois cycles de compression au cours desquels une attention particulière est accordée à la période de repos de 15 à 20 minutes entre les compressions. Après la troisième compression, le cycle de repos est prolongé d'au moins une heure, après quoi le processus de test proprement dit est introduit par le quatrième cycle de compression.

03 Facteurs de correction

Si les conditions de test diffèrent des conditions nominales, des facteurs de correction sont appliqués afin d'assurer la comparabilité. Ces facteurs de correction sont établis lors des tests fondamentaux. Des données comparables sont obtenues en comparant les résultats des tests avec les données du catalogue ou les exigences spécifiques au projet, afin d'observer si une défense répond aux exigences et de vérifier de manière concluante ses performances.

Les facteurs de correction typiques sont la vitesse d'essai (VF ; facteur de vélocité) ou la plage de température (TF ; facteur de température). Il n'existe pas de bâtis de test indépendants capables de tester les défenses à la vitesse réelle d'accostage et, par conséquent, une vitesse lente constante (CV) est appliquée pendant les essais, conformément au rapport 33 du groupe de travail de l'AIPCN (AIPCN 2002).

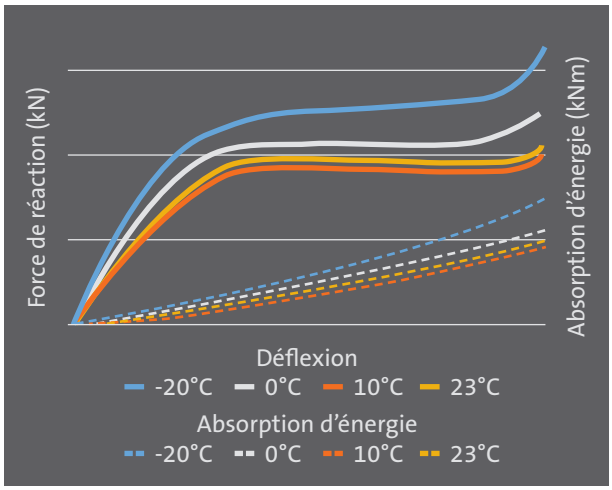


Figure 3: Résultats des tests de performance à différentes températures du caoutchouc

Exemple de calcul de l'application du facteur température

- La défense est testée à 30° (stabilisée à la température ambiente de l'usine de fabrication); Résultat du test: 766 kNm
- Le facteur de correction de la température à 30° est de 0.976 (cette valeur a été établie lors des essais fondamentaux)
- Absorption d'énergie corrigée pour le facteur de température: 766 kNm / 0.976 = 784 kNm
- Le résultat après facteur de correction (784 kNm) est comparé à la valeur minimale requise (pour notre exemple 782 kNm)
- L'absorption d'énergie de la défense est conforme aux exigences minimales.

04 Critères de réussite / échec

Pendant le test de performance, la défense est compressée jusqu'à sa déflexion nominale et réussit le test lorsque l'énergie minimale est atteinte à tout moment du test sans dépasser la force de réaction maximale. À ce propos, il est important de mentionner que la déflexion n'est pas un critère de réussite/échec* et que la défense réussit l'essai même si l'énergie et la réaction sont atteintes avant la déflexion nominale.

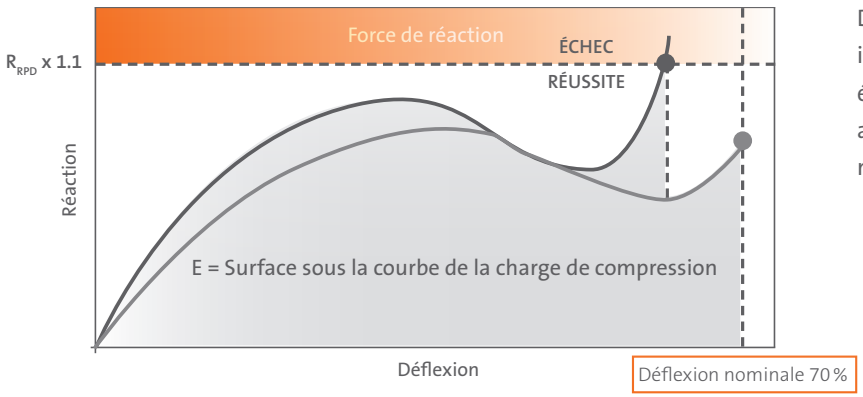


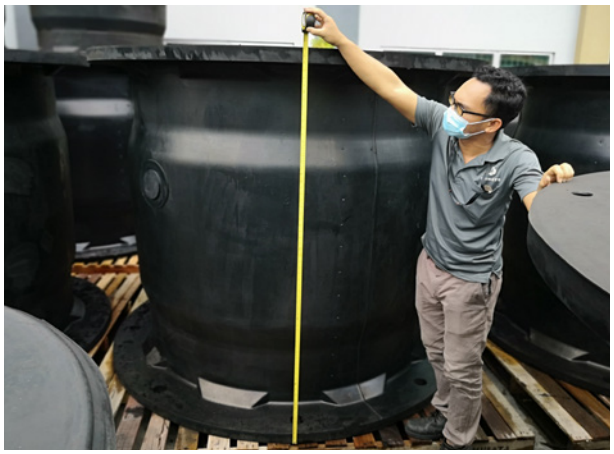
Figure 4: Courbe de la charge de compression

Deux défenses sont comprimées jusqu'à la déflexion nominale de 70. L'une des défenses atteint son énergie minimale et sa force de réaction maximale avant la déflexion nominale, l'autre à la déflexion nominale : les deux défenses réussissent l'essai.

* AIPCN: 2002 Section 6.1.2, ASTM F2192 Alinéa 7.1.2

Vérification des dimensions

Les dimensions sont vérifiées et comparées aux données du catalogue et doivent se situer dans la tolérance du fabricant. Lors de la mesure des dimensions sur le site de production, il faut tenir compte de la dilatation et de la contraction thermiques. Les variations de dimensions entre les défenses sont rares car elles ont été produites dans le même moule.



Contrôle dimensionnel

Contrôle visuel

Au cours du test de vérification, la défense finale fait l'objet d'un examen visuel pour vérifier son apparence afin de détecter les craquelures ou les défauts. Si la défense présente une protubérance apparente de petite taille, le produit est retouché. **En général, les protubérances apparentes n'affectent pas les performances.** Les défenses peuvent présenter des traces de flux en surface, ce qui est habituel tant qu'elles ne sont pas trop étendues. Si elles relèvent d'une question purement esthétique, elles n'ont pas d'incidence sur la qualité. Si la zone du défaut est importante, le client doit consulter le fabricant.

Par ailleurs, dans le cas où une défense cylindrique est ovale, il peut être nécessaire de la refaire.



Protubérance apparente (doit être réparée ou remplacée)

Guide des meilleures pratiques de SFT pour les questions fréquemment posées.

La partie suivante traite des problèmes importants, des défis et des questions concernant la vérification des facteurs de correction, la manière de catégoriser et de corriger les variations des résultats de tests et ce qui se passe si un produit ne répond pas aux exigences.

Q **Quelle est la meilleure pratique pour vérifier les facteurs de correction?**

A Il serait possible de vérifier une nouvelle fois les facteurs de correction pour un projet spécifique, mais la pratique courante consiste à appliquer les facteurs de correction prédéfinis lors des tests d'homologation de type. La question importante à prendre en compte dans ce contexte est de savoir à quoi ressemblaient le protocole de test et la configuration pour la définition originale des facteurs de correction et de faire correspondre la configuration originale pour les nouveaux tests afin d'obtenir des données comparables. De légères variations peuvent se produire et sont la norme - même avec exactement la même configuration.

La meilleure pratique ici est obtenue lorsque le fabricant dispose d'une homologation de type, car les facteurs de correction sont calculés et établis au cours de ce processus. L'homologation de type doit être certifiée par un organisme indépendant et fiable et il est, comme toujours, conseillé au client de travailler avec un fournisseur de confiance ayant une expérience avérée. Il est également possible de créer un niveau de confiance supplémentaire lorsque l'établissement des facteurs de correction a été développé en collaboration avec une entité indépendante, par exemple un institut technique, tel que l'université de Kyushu au Japon. Dans tous les cas, si cela est demandé ou exigé pour une raison quelconque, les facteurs de correction peuvent être testés à nouveau. Étant donné que ce test est réalisé dans des conditions de laboratoire, cela entraîne des délais et des coûts supplémentaires. **Toutefois, si la commande est passée auprès d'un fournisseur de confiance, il est rarement nécessaire ou justifié de procéder à un autre test.** Par ailleurs, il arrive souvent que les facteurs de correction soient remis en question lorsqu'il s'agit de tester, bien qu'il n'y ait en fait aucune raison logique à cela : **le système de défense a été conçu selon les mêmes facteurs de correction que ceux qui sont appliqués lors des tests.**

Q **Comment traiter les variations entre les résultats des tests et les données du catalogue? Quelle est la procédure à suivre en cas de variations?**

A **La procédure de meilleure pratique pour corriger les variations consiste à établir une communication très claire tout au long du projet et à faire en sorte que le client et le fabricant conviennent de la procédure avant le début des tests.** Le protocole de test doit être clairement convenu par les deux parties. Les variations ne signifient pas nécessairement qu'un mauvais produit a été livré ou que le matériau est de mauvaise qualité. En cas de variations, le fabricant peut vérifier l'étalonnage de son équipement de test et revoir les conditions d'essai. Les étapes suivantes consisteront à vérifier les résultats des tests des matériaux et du processus de moulage et de durcissement.

Une des causes possibles des variations est que le protocole de test n'a pas été suivi. Par exemple, la défense n'a pas été stabilisée en température et a donc été testée avec une température incorrecte, ou le temps défini entre chaque cycle de test pour les tests de performance a pu être négligé. **Le non-respect des protocoles de test modifie les résultats des tests et empêche de les comparer aux données du catalogue. Pourtant, cela ne signifie pas que le produit est mauvais, mais que les résultats ne sont tout simplement pas comparables.**

Q **Et si tout le processus a été respecté mais que des variations persistent ?**

A Si les résultats des tests finaux présentent encore des variations, même si toutes les causes possibles ont été éliminées, le fabricant consultera le client pour savoir si le produit peut être accepté sous certaines conditions. **Dans ce cas, le degré de variations doit être mis en balance avec les éventuelles conséquences sur la performance de la défense ou son installation. La décision sera prise sur la base d'une évaluation minutieuse et d'un accord entre le fabricant et le client.** Certaines variations sont négligeables, comme quelques millimètres de différences dimensionnelles par exemple.

Q **Que faire si le produit ne répond pas aux exigences des tests?**

A Si les résultats du test de vérification ne correspondent pas aux valeurs requises dans les tolérances correspondantes, un nouveau test est effectué en utilisant deux autres ensembles d'échantillons ou de défenses provenant du même lot de mélange. La défense qui n'a pas réussi le test est écartée et sera produite à nouveau. Si tous les échantillons supplémentaires réussissent les tests de performance et tous les autres tests de vérification de la qualité, on peut supposer que les autres défenses sont également conformes aux exigences.

C. Renseignements supplémentaires – Défenses en mousse, défenses pneumatiques et boucliers en acier.

Le même principe qui s'applique à tous les aspects de la fabrication des défenses est également valable pour les tests: les différents projets de défense ainsi que les différents types de défense requièrent une attention particulière selon des critères distincts. Cette section résume les points clés des tests des défenses pneumatiques, des défenses en mousse et des boucliers en acier.

Défenses en mousse

Pour la vérification de la performance d'une défense en mousse, il est important de définir si un modèle réduit ou une défense grandeur nature est testée (selon la norme ASTM 2192, des modèles réduits doivent être utilisés pour les défenses de grande taille). La tolérance de performance normale d'une défense en mousse est de +/-15 %, la tolérance dimensionnelle recommandée se situe dans une plage de +5 %/-0 % ou comme convenu entre le fabricant et le client.

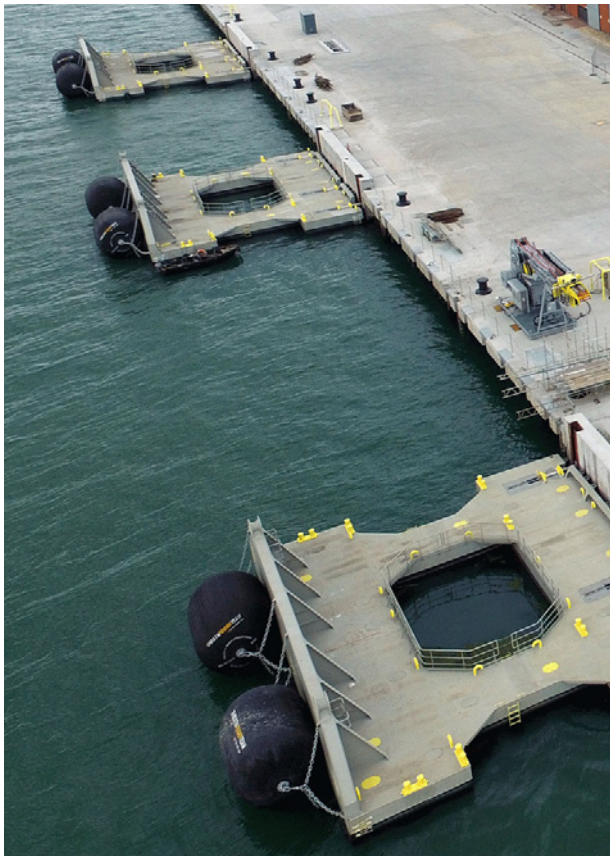
D'autres tests portent sur l'épaisseur du revêtement de la défense, la densité de la mousse et la traction axiale. **Pour plus d'informations, veuillez consulter le fabricant et vous assurer de vous mettre d'accord sur un protocole de test qui sera ensuite strictement respecté et sur la manière dont les variations seront corrigées.**

Défenses pneumatiques

Le test de matériaux du caoutchouc extérieur et du caoutchouc intérieur doit être effectué conformément aux informations spécifiées dans la norme ISO 17357. Le contrôle dimensionnel doit être effectué à la pression interne initiale et se situe dans une plage de tolérance de +10 %/-5 % en longueur et en diamètre.

Les défenses pneumatiques sont soumises à un test de fuite d'air qui doit être effectué sur toutes les défenses à la pression initiale pendant plus de 30 minutes. Les résultats du test doivent confirmer qu'il n'y a pas de fuite d'air.

Les performances des défenses pneumatiques flottantes en caoutchouc à haute pression doivent être spécifiées en termes d'absorption d'énergie garantie (AEG), de force de réaction à la déflexion de l'AEG et de pression de la coque à la déflexion de l'AEG. Ces tests doivent être effectués à l'aide d'une défense grandeur nature ou d'un modèle réduit dont le diamètre est supérieur à un cinquième du diamètre réel.



Défenses pneumatiques

Boucliers en acier

Les boucliers en acier des systèmes de défense sont généralement protégés contre la corrosion par un système de revêtement conforme à la norme ISO 12944. **Les boucliers doivent être soumis à des contrôles d'épaisseur de peinture afin de vérifier l'épaisseur du revêtement et d'effectuer des retouches si nécessaire.**

Afin de vérifier l'étanchéité à l'air du bouclier, on effectue un test de pression du bouclier. Il s'agit d'un test très courant, facile à réaliser sur le chantier : le bouclier est mis sous pression et grâce à l'utilisation d'un aérosol de savon autour des soudures extérieures, il est possible d'examiner l'étanchéité à l'air. L'apparition de bulles indique une fuite d'air. Dans ce cas, les soudures doivent être réparées par un soudage supplémentaire et contrôlées à nouveau ultérieurement.

Pour les autres exigences de test, il est recommandé de coordonner un ITP (plan d'inspection et d'essai) détaillé avec le fabricant.



Bouclier en acier

Conclusion.

Une défense de haute qualité est le résultat de processus de composition, de mélange, de fabrication, de durcissement et de tests qui doivent être confiés à un fabricant expérimenté. **Les tests garantissent que les performances et les propriétés physiques de la défense finale répondent aux exigences des projets individuels ainsi qu'aux normes internationales. C'est l'une des raisons pour lesquelles il est conseillé au client de consulter le fabricant et d'insister particulièrement sur cette phase de la fabrication de la défense.**

Selon ce dossier technique, il est essentiel de mettre en place un protocole de test détaillé avant de procéder aux tests et il est fortement recommandé de consulter un fabricant de défenses fiable et réputé pour obtenir une assistance et des conseils sur toutes les exigences liées au projet. De plus, une communication claire concernant les facteurs de correction et les déviations est essentielle pour garantir que la défense finale est livrée conformément à la commande du client.

Un fabricant de défenses expérimenté tiendra compte de chaque aspect important des normes de qualité les plus élevées et trouvera l'équilibre optimal du rapport coût-performance, en particulier en ce qui concerne les tests. **Un traitement incorrect des méthodes de test peut entraîner des délais et des coûts supplémentaires qui peuvent être évités en établissant au préalable l'approche la plus appropriée.**

En tant que fabricant de défenses doté d'une expertise inégalée dans la production de caoutchouc, le groupe ShibataFenderTeam considère la création et la promotion de la valeur du produit comme l'un de ses principaux objectifs. **Notre mission est motivée par notre engagement à fournir des produits haute performance et par notre sens aigu des responsabilités.**

Références:
Sauf indication contraire, toutes les références au caoutchouc et à la composition du caoutchouc faites dans ce dossier technique sont extraites des ouvrages suivants:
- Abts, G. (2007). Einführung in die Kautschuktechnologie (Introduction à la technologie du caoutchouc). München: Hanser
- Hofmann, W. & Gupta, H. (2009). Handbuch der Kautschuktechnologie. Band 4 Artikelfertigung und Qualitätssicherung (Guide de référence sur la technologie du caoutchouc. Volume 4 Production et assurance qualité) Ratingen: Gupta

Remarque:

- **Les tests garantissent que les performances de la défense finale répondent aux exigences de chaque projet ainsi qu'aux normes internationales.**
- **Il est essentiel d'établir un protocole de test détaillé avant les tests et il est fortement recommandé de consulter un fabricant de défenses fiable et réputé.**
- **Une communication claire concernant les facteurs de correction et les variations est essentielle pour garantir que la défense finale est livrée conformément à la commande du client.**

Groupe ShibataFenderTeam.

Le Groupe ShibataFenderTeam est le principal fabricant international de défenses. Jouissant d'une expérience de plus de 50 ans dans la production de défenses, il compte plus de 120,000 défenses en service dans le monde entier et est fort de 90 ans d'expertise en matière de produits en caoutchouc. Shibata Industrial a son siège au Japon et est responsable de la production et de la recherche et développement, tandis que ShibataFenderTeam, installé en Allemagne, est chargé de la conception et de la vente. Leurs bureaux régionaux aux États-Unis, en Europe et en Asie s'appuient sur un vaste réseau de représentants locaux bien implantés, présents sur six continents. La création et la protection de valeur, voilà l'essence et la finalité de nos produits. Nous fournissons l'éventail complet de produits de défense maritimes: des simples profils en caoutchouc à des systèmes extrêmement sophistiqués ainsi que des accessoires et des fixations. L'excellence de l'ingénierie signifie que nos partenaires peuvent être sûrs que nous leur offrons le meilleur de nous-mêmes dans tous les domaines. L'expérience nous a permis de nous forger une réputation de partenaire fiable et digne de confiance sur le marché des ports internationaux, petits ports et voies navigables.

www.sft.group

GROUPE SHIBATAFENDERTEAM.

Siège:

ShibataFenderTeam AG – Allemagne
+49 (0)40 63 86 10 - 170
contact-germany@shibata-fender.team



ShibataFenderTeam Inc. – États-Unis
+1 (571) 281 - 3770
contact-americas@shibata-fender.team

ShibataFenderTeam Sdn. Bhd. – Malaisie
+60 (0)3 5545 9215
contact-malaysia@shibata-fender.team

ShibataFenderTeam Spain SLU – Espagne
+34 960 550 400
contact-spain@shibata-fender.team

ShibataFenderTeam B. V. – Pays-Bas
+31 (0)497 749 - 260
contact-netherlands@shibata-fender.team

Publié par ShibataFenderTeam AG. Tous droits réservés. 06/2021;
Mise en page : wn8.de