

LISTE DES TABLEAUX

1	Les compositions des têtes d'allumettes à l'origine	5
2	Les évolutions des compositions types des allumettes suédoises	7
3	Les compositions types : chlorate dans la tête, phosphore dans le frottoir	8
4	Les compositions types des allumettes de non sûreté	9
5	Les séquences des opérations pendant le frottement d'une allumette.....	15
6	Les énergies d'activation des différentes compositions de (KClO ₃ , MnO ₂ , K ₂ Cr ₂ O ₇)	18
7	La composition standard de Shidlovsky.....	20
8	Les variations des températures de combustion en fonction de la quantité de chlorate	21
9	Les différentes formes des cristaux de chlorate	23
10	Les résultats des essais	75 ; 76
11	Mesure des densités des pâtes.....	90
12	L'évolution des coûts et pertes liés aux tiges avec des taches jaunes.....	94
13	La comparaison des déchets tiges avec têtes des pâtes au chrome et au (MnO ₂ -K ₂ Cr ₂ O ₇).....	95
14	Les coûts des matières premières importées (MnO ₂ -K ₂ Cr ₂ O ₇).....	96
15	Les coûts de fabrication des pâtes de la chromite et (MnO ₂ -K ₂ Cr ₂ O ₇).....	97
16	Les coûts des absentéismes des personnels en contact direct avec des produits chimiques.....	99 ; 100
17	La récapitulation des impacts financières relatifs à la substitution du dioxyde de manganèse et du bichromate de potassium par la chromite.....	100

LISTE DES FIGURES

1. Le temps de début de réaction des mélanges chimiques des têtes d'allumettes en fonction de la température	17
2. Le processus de fabrication des boîtes d'allumettes en bois.....	31
3. Le processus de fabrication des tiges d'allumettes en bois.....	32
4. La machine d'épluchage.....	34
5. Quantité d'eau retenue, par les plaques pour la fabrication des tiges en fonction de l'humidité	37
6. Le processus de fabrication des boîtes d'allumettes en carton.....	44
7. Les tiges en carton.....	45
8. Le processus de fabrication des allumettes à tiges paraffinées et boîtes en carton.	50
9. Le processus de fabrication des allumettes à tiges paraffinées et boîtes en carton.(suite)	51
10. La liaison primaire d'un complexe de chrome avec la collagène	63
11. La mise en forme de la tête d'allumette	72
12. Le complexe de chrome transformé en un produit hydrophobe.....	87
13. Une tête d'allumette avec une création de vide à l'intérieur	87
14. L'allumage d'une tête d'allumette avec un vide à l'intérieur	88
15. Courbe de densité des pâtes au chromite et ($\text{MnO}_2\text{-K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)	90

SOMMAIRE

DEDICACE

ABREVIATIONS

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

ERRATA

INTRODUCTION.....	1
PREMIERE PARTIE	3
RAPPELS ET GENERALITES	3
I HISTORIQUE.....	4
II CONSIDERATION THEORIQUE DE L'ALLUMAGE DES ALLUMETTES.....	10
II-1 Le processus de l'allumage.....	10
II-1-1 Les réactions d'allumage à l'état solide	10
II-1-2 Propagation de la flamme depuis le frottement d'une allumette.....	13
II-1-3 Les réactions chimiques des composants des têtes d'allumettes	16
II-1-4 Mécanisme d'allumage d'une allumette de sûreté	19
II-2 Les températures de combustion.....	20
II-3 Morphologie des composants de la tête	21
II-4 Commentaire général	22
III-PRINCIPE DE FORMULATION DES COMPOSITIONS DES TETES	
D'ALLUMETTES	23
III-1 Formulation des produits chimiques pour les allumettes de sûreté	23
IV-LES TECHNIQUES DE FABRICATION D'ALLUMETTES	27
IV-1 Définition	27
IV-1-1 Boîtes extérieures	27
IV-1-1-1 Boîtes extérieures en bois.....	28
IV-1-1-2 Boîtes extérieures en carton.....	28
IV-1-2 Boîtes intérieures	28
IV-1-3 Tiges	29
IV-1-3-1 Tiges en bois.....	29
IV-1-3-2 Tiges en carton	29
IV-1-3-3 Tiges paraffinées	29
IV-2 Les différents types de fabrication d'allumettes	30

IV-2-1 Fabrication des allumettes à tiges et boîtes en bois	30
IV-2-1-1 Processus de fabrication	30
IV-2-1-2 Préparation des bois.....	31
IV-2-1-2-1 Stockage des bois.....	31
IV-2-1-2-2 Traitement des bois.....	32
IV-2-1-3 Fabrication des tiges en bois.....	32
IV-2-1-3-1 Epluchage	32
IV-2-1-3-2 Découpage des tiges	33
IV-2-1-3-3 Coloration et imprégnation	34
IV-2-1-3-4 Séchage	35
IV-2-1-3-5 Polissage	36
IV-2-1-3-6 Nettoyage	37
IV-2-1-3-7 Tamisage.....	38
IV-2-1-3-8 Nivellement des tiges.....	38
IV-2-1-3-9 Remplissage cadres.....	38
IV-2-1-3-10 Immersion	39
IV-2-1-3-11 Séchage	41
IV-2-1-4 Fabrication des boîtes en bois.....	41
IV-2-1-4-1 Fabrication des boîtes extérieures.....	41
IV-2-1-4-2 Fabrication des boîtes intérieures	41
IV-2-1-5 Conditionnement	42
IV-2-2 Fabrication des allumettes à tiges en bois et boîtes en carton	42
IV-2-2-1 Boîtes extérieures	42
IV-2-2-2 Boîtes intérieures	44
IV-2-2-3 Tiges	44
IV-2-2-4 Conditionnement	44
IV-2-3 Fabrication des allumettes à tiges en carton	44
IV-2-4 Fabrication des allumettes à tiges paraffinées	45
 DEUXIEME PARTIE	 46
ETUDES EXPERIMENTALES DE LA CHROMITE	46
V-PRESENTATION DE LA SOCIETE VARATRAFO	47
V-1 Historique	47
V-2 Technologie utilisée	47

V-3 Organisation de la Société.....	47
VI-PROCESSUS DE FABRICATION DES ALLUMETTES A TIGES	
PARAFFINEES.....	48
VI-1 Production des boîtes intérieures.....	49
VI-2 Production des boîtes extérieures.....	50
VI-2-1 Découpage 1/5.....	50
VI-2-2 Application frottoir.....	51
VI-2-3 Découpage 1/6.....	52
VI-2-4 Formation boîtes extérieures.....	52
VI-3 Production des tiges.....	53
VI-3-1 Découpage des papiers.....	53
VI-3-2 Humidification.....	53
VI-3-3 Tréfilage.....	54
VI-3-4 Remplissage cadre.....	54
VI-3-5 Immersion.....	55
VI-3-6 Pré séchage.....	55
VI-3-7 Séchage.....	56
VI-4 Conditionnement.....	56
VI-4-1 Mise en boîtes des tiges.....	56
VI-4-2 Emballage par dizaine.....	57
VI-4-3 Emballage en cartouche.....	57
VI-4-4 Mise en carton.....	58
VII-ETUDE EXPERIMENTALE DE LA CHROMITE POUR LA	
FABRICATION DE ALLUMETTES.....	59
VII-1 Justification du choix de la chromite.....	59
VII-2 Les limites de notre étude.....	59
VII-3 Etudes de quelques oxydes utilisés pour la fabrication des allumettes.....	60
VII-3-1 Le bichromate de potassium.....	60
VII-3-1-1 Propriétés du bichromate de potassium.....	61
VII-3-1-2 Spécification en allumette.....	62
VII-3-1-3 Manipulation pour la fabrication des allumettes.....	62
VII-3-1-4 Les principales réactions en allumettes.....	62
VII-3-2 Le dioxyde de manganèse MnO_2	62
VII-3-2-1 Spécification en allumette.....	63

VII-3-2-2 Réactivité en allumette	63
VII-4 Analyse de la chromite.....	63
VII-4-1 Dosage de la silice.....	63
VII-4-2 Dosage de l'oxyde de chrome	64
VII-4-3 Dosage de l'oxyde d'aluminium	64
VII-4-4 Dosage du MgO et du FeO.....	64
VII-4-5 Résultats des analyses de la chromite	65
VIII ESSAIS DE LA CHROMITE	66
VIII-1 Rôle du dioxyde de manganèse	66
VIII-2 Rôle du bichromate de potassium.....	67
VIII-3 Processus des essais.....	67
VIII-3-1 Manipulation.....	68
VIII-3-1-1 Préparation de la pâte.....	68
VIII-3-1-2 Immersion	69
VIII-3-2 Séchage	70
VIII-3-3 Test d'allumage.....	70
VIII-4 Essais	70
VIII-4-1 Essai de référence	70
VIII-4-2 Elimination du dioxyde de manganèse	71
VIII-4-3 Substitution du dioxyde de manganèse par la chromite.....	71
VIII-4-4 Elimination du bichromate de potassium.....	71
VIII-4-5 Substitution du bichromate de potassium par la chromite.....	71
VIII-5 Résultats des essais.....	71
IX-INTERPRETATION DES RESULTATS ET DISCUSSIONS	73
IX-1 Essai n°1	73
IX-1-1 Couleur de la pâte	73
IX-1-2 Test d'allumage	74
IX-1-2-1 Explication de l'allumage normal	74
IX-2 Elimination du dioxyde de manganèse.....	74
IX-2-1 Couleur de la pâte	74
IX-2-2 Test d'allumage et discussion.....	75
IX-3 Substitution du dioxyde de manganèse par la chromite.....	76
IX-3-1 Couleur	76
IX-3-2 Test d'allumage	76

IX-4 Elimination du bichromate de potassium	77
IX-4-1 Couleur de la pâte	77
IX-4-2 Test d'allumage et discussion.....	77
IX-5 Substitution du bichromate de potassium par la chromite	77
IX-5-1 Couleur de la pâte	78
IX-5-2 Test d'allumage et discussion.....	78
X-CONCLUSION DE L'ESSAI DE LA CHROMITE	79
X-1 Caractéristiques physico-chimiques de la chromite	79
X-2 Formulation de la composition chimique des têtes d'allumettes.....	79
XI-IMPACTS DE L'UTILISATION DE LA CHROMITE	80
XI-1 Substitution du dioxyde de manganèse par la chromite.....	80
XI-2 Substitution du bichromate de potassium par la chromite	81
XI-2-1 Manipulation.....	81
XI-2-2 Stockage des tiges avec têtes	82
XI-3 Déchets tiges avec têtes.....	84
XI-4 Impacts financiers de la substitution des (MnO_2 , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), par la chromite	86
XI-4-1 Définitions	86
XI-4-1-1 Les coûts directs	86
XI-4-1-2 Les coûts indirects	87
XI-4-2 Les étapes de l'évaluation.....	87
XI-4-2-1 Point de vue	87
XI-4-2-2 Précision.....	88
XI-4-2-3 Année de référence	88
XI-4-2-4 Critères de l'évaluation.....	88
XI-4-2-5 Agrégation	88
XI-4-3 Analyse des coûts directs de la substitution	89
XI-4-3-1 Avantage économique de la substitution relative au stockage des tiges avec têtes	89
XI-4-3-2 Avantage économique de la substitution relative au taux de déchets	90
XI-4-3-3 Avantage économique de la substitution relative à l'économie de devises	91
XI-4-3-3-1 Devises.....	91

XI-4-3-3-2 Valeurs ajoutées	92
XI-4-3-4 Avantage économique de la substitution relative à la consommation des pâtes de têtes	93
XI-4-3-5 Total des coûts directs	93
XI-4-4 Evaluation des coûts indirects	93
XI-4-4-1 Coûts indirects	93
XI-4-5 Récapitulation des impacts financiers relatifs à la substitution du dioxyde de manganèse et du bichromate de potassium par la chromite	96
XII CONCLUSION GENERALE	97
GLOSSAIRES	99-100
BIBLIOGRAPHIE	101-102

INTRODUCTION

Ce travail entre dans le cadre des recherches entreprises au sein de l'ÉCOLE SUPÉRIEURE POLYTECHNIQUE D'ANTANANARIVO sur la connaissance et la valorisation des matières premières locales et du travail avec le milieu industriel.

Ingénieur responsable technique de la société VARATRAFO, nous connaissons bien les problèmes des intrants importés pour la production locale des allumettes, (coûts en devises, disponibilité).

Par ailleurs les produits tels que le dioxyde de manganèse et le bichromate de potassium posent également quelques problèmes techniques pour l'unité de production.

Par exemple, le dioxyde de manganèse que l'on utilise en poudre très fine est très salissant. De même, dans les zones relativement humides, comme Tamatave, le bichromate de potassium, soluble dans l'eau, rend les allumettes très sensibles à l'humidité. Ce qui provoque, par exemple, le changement de coloration de la tête d'allumettes et une diminution de la qualité d'allumage.

Nos études bibliographiques sur la chimie des allumettes nous ont fait penser qu'il pourrait être possible de substituer la chromite au dioxyde de manganèse et au bichromate de potassium.

La chromite étant un minerai exploité industriellement à Madagascar donc facilement disponible, sans sortie de devises.

C'est dans cette optique que nous avons entrepris ce travail.

Compte tenu de ces éléments, notre mémoire comprendra deux parties.

1^{er} partie : RAPPELS ET GENERALITES

Dans cette partie, nous avons rassemblé les données nécessaires pour la compréhension de notre travail

2^e partie : ETUDES EXPERIMENTALES

Nous exposons les différentes manipulations que nous avons effectuées ainsi que les principaux résultats de nos essais.

Après une discussion sur ces résultats, nous terminerons par une conclusion générale

PREMIERE PARTIE

RAPPELS ET GENERALITES

I - HISTORIQUE

Pendant plus de deux cent ans, la fabrication d'allumettes a été un savoir faire et même un art de devenir une technologie basée sur des connaissances scientifiques, la précision et l'aptitude, la possibilité de fournir de manière simple, efficace et bon marché une source de flamme que l'on peut rallumer immédiatement quand on a besoin, explique l'essor considérable de l'usage des allumettes.

Dans le monde, la technologie de fabrication des allumettes a été dominée au départ par quelques entreprises internationales. Les informations scientifiques sur l'allumage et la composition de la tête d'allumettes sur cette technologie protégée par de nombreux brevets étaient très limitées.

L'historique de l'industrie des allumettes commence avec la découverte du phosphore par BRAND à Hambourg en 1669, lequel a démontré qu'il est possible de produire du feu par des moyens non mécaniques [8], [9]^(*),

En bouillant de l'urine, il a obtenu une substance cireuse blanche qui a brillé dans l'obscurité, qu'il a appelé par conséquent "Phosphore " (light-bearer).

L'avancée majeure s'est produite en 1826 en Angleterre, quand John. Walker et County Durham ont fabriqué et vendu des " lumières de frottement " (friction lights), allumette à tige en bois de 75 mm de long, et dont la tête était composée de chlorate de potassium, de soufre d'antimoine, de colle et d'amidon)[4]^(*).

A partir de cette période, Faraday a présenté ces types d'allumettes dans des conférences en 1828, et par la suite, elles ont été vendues par un jeune chimiste appelé " Samuel Jones, sous le nom de Lucifers " [7] ^(*) dans de petites boîtes rectangulaires qui sont encore utilisées actuellement.

Pour allumer ces allumettes, il était nécessaire à l'époque de placer la tête d'allumettes entre un pli de papier de verre tenu entre le pouce et l'index, puis le frotter de façon à ce que la tête ne se détache pas.

(*) Renvoi numéro bibliographique

Tableau 1 Composition des têtes d' allumettes à l' origine [6] ^(*)

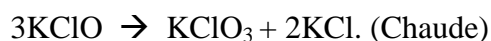
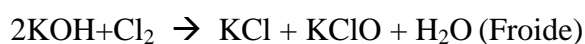
Anglais		
Français		
Soufre.....	6%	12,5%
Sulfure d' antimoine.....	24,5%	18,1
Chlorate de Potassium	27,6%	41%
Oxyde de fer.....	5,6%	3,5%
Gomme arabique.....	35,7%	24,9%

En Europe Continentale, dans le même temps, le “ briquet –oxygène” ou “ Machine de feu “ lequel était : une tige avec une tête enduite de soufre, de chlorate de potassium, de colophane, du sucre et de la gomme arabique [36]^(*); et dont l'allumage se faisait par trempe dans l'acide sulfurique.

Ce principe d'oxydation du chlorate dans l'acide sulfurique a été découvert par Berthollet et breveté par Samuel Jones en 1828 ; avec une capsule de verre scellée d'acide sulfurique à l'intérieur et enduite de chlorate de sucre et de colle à l'extérieur et le tout enveloppé de papier. Quand on cassait la capsule, le papier s'allumait.

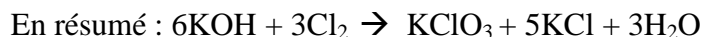
Tous ces types d'appareils “produisant du feu” ont été remplacés par les allumettes de frottement produites aux USA par EZEKIAL Byam avec des propriétés améliorées et de meilleurs caractéristiques par l'utilisation du phosphore jaune comme composant actif.

Dans ce type d'allumettes, la préparation du chlorate de potassium posait beaucoup de problèmes. Elle a été préparée par Berzelius en 1828 [3]^(*) en faisant passer du gaz chlore dans une solution d'hydroxyde de potassium. Il a d'abord obtenu de l'hypochlorite puis ensuite du chlorate. Gay Lussac montre que cette solution d'hydroxyde doit être froide pour produire de l'hypochlorite, puis décomposée par la chaleur pour donner du chlorate suivant la réaction :

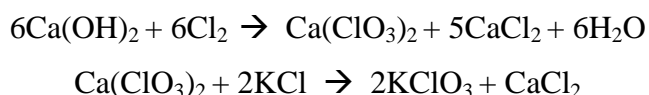


(*) Renvoi numéro bibliographique

Puis avec un excès de Cl_2 donne du KClO_4



Avec ce processus, le rendement en chlorate de potassium est très faible et rend le système peu rentable. La méthode a été améliorée par .Von Liebig [32]^(*) par l'usage de sel de calcium très stable comme étape intermédiaire.



Ce principe a évité l'utilisation de la potasse (KOH) qui est relativement chère. Cette méthode a été utilisée pendant plusieurs années pour produire du chlorate de potassium jusqu'à l'introduction des processus électrolytiques beaucoup plus efficaces.

Après la découverte du phosphore rouge par Schrotter (en 1848), en chauffant le phosphore blanc en absence d'oxygène, plusieurs méthodes ont été développées pour produire des allumettes.

En 1832 Kammecker et un chimiste français Sauria, ont préparé un mélange contenant du phosphore blanc de chlorate de potassium et de la gomme arabique à Ludwigburg à Stuttgart.

En 1836 la méthode d'utilisation des oxydes est suggérée pour réduire l'explosion du chlorate de potassium [18]^(*). Une allumette de frottement a été brevetée en 1844 par Pash professeur à Stockholm qui a utilisé une tête semblable au mélange de Walker avec frottoir imprégné de phosphore rouge.

En 1851 à Brimingham, Albright avait utilisé le phosphore rouge de Schrotter et amélioré le processus pour fabriquer du phosphore rouge. En 1855, il a envoyé l'échantillon à J.E Lunistrom en Joköping en Suède où les premières allumettes de sûreté sont entrées en usage.

(*) Renvoi numéro bibliographique

Entre 1830 et 1890, la nature chimique des allumettes de frottement n'a pas changé bien qu'il eut plusieurs améliorations par exemple :

- La substitution de la paraffine solide par le soufre comme agent de transmission de la flamme.
- La protection de la tête d'allumettes contre l'humidité.
- L'imprégnation de la tige par une substance chimique pour assurer l'extinction de la tige après celle de la flamme.

Comme les techniques ont évolué dans le temps, les quantités de phosphore contenus dans la composition de la tête d'allumettes ont été réduites progressivement au cours du temps comme indique le tableau suivant :

Tableau 2 Evolution de la composition type des allumettes « suédoises » [6]^(*)

Pays Matière	Allemagne 1835	Allemagne 1838-1840	Allemagne 1840	Allemagne 1840-1850	Autriche 1840-1850	Autriche 1860
Phosphore (%)	20,5	10,5	13,0	6,9	17,8	5,5
Soufre (%)	14,3	12,7	9,0	20,4	11,5	3,2
Chlorate de potassium (%)	32,1	43,3	60,7	39,0	37,4	54,8
Craie (%)	8,0	12,5				
Gomme (%)		21,0			33,3	36,5
Amidon (%)	25,1		17,3			
Gélatine (%)				33,7		

(*) Renvoi numéro bibliographique

Toutes ces compositions produisant des allumettes connaissent des difficultés au moment de l'allumage et de la combustion de la tête. Plusieurs améliorations ont été faites pour palier à ce problème. Par exemple : l'utilisation des tannins végétaux pour protéger le phosphore de l'oxydation et de l'humidité.

En Europe, la fabrication des allumettes de sûreté s'est développée, en suivant l'exemple Suédoise. Voici quelques compositions types basées sur le principe :

Composition du chlorate dans la tête, et le phosphore.

Tableau 3 Composition type:chlorate dans la tête, phosphore dans le frottoir [6]^(*)

	Jonköping suédoise (%)	Anglaise (%)	Américain (%)	Composition du frottoir (%)
Gélatine Animale	6,25	8,16	9,54	
Gomme Arabique	1,56	11,73		5,24
Gomme "Tragacanth"		1,53	0,53	
Chlorate de potassium	56,25	51	61,8	
Bichromate de potassium	1,56	3,79		
Dioxyde de Manganèse	3,12	3,89		39,3
Soufre	8,34	1,42	1,76	
Oxyde de fer	8,34	2,84		1,4
Silice	14,58	8,46	16,68	7,68
Kieselguhr		2,06	1,76	
Thiosulfate de plomb			2,65	
Oxyde de Zinc			0,88	
Colorant rouge		5,12		
Colophane				
Phosphore rouge				46,2

(*) Renvoi numéro bibliographique

Cependant, les allumettes de non sûreté (Strike any where) sont restées très populaires en Grande Bretagne et aux Etats Unis bien qu'elles soient basées sur le phosphore blanc toxique ou jaune [variétés allotropiques du phosphore] .

Beaucoup de tentatives ont été faites pour remplacer ce phosphore à cause de ces caractéristiques “ poison ” qui provoque des accidents fatals aux jeunes enfants (en mangeant la tête d'allumettes).

La plupart des compositions ont utilisé le phosphore rouge ou ses dérivés, mais sa commercialisation est très difficile du fait que la tête d'allumettes qui le contient est très difficile à sécher.

Ce phénomène a été résolu par l'utilisation de la sesquisulfite de phosphore non toxique P_4S_3 par Sevene et Cahen en France en (1898) [17]^(*).

Ce produit est obtenu en chauffant le phosphore blanc et le soufre ensemble en absence d'air :

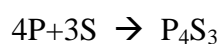


Tableau 4 Composition type des allumettes de non-sûreté. (strike anywhere) [6]^(*)

Matière	Composition	Poids sec
Sesquisfure de phosphore (%)	10	12,67
KClO ₃ (%)	22,22	28,18
Oxyde ferrique Fe ₂ O ₃ (%)	12,22	15,49
Oxyde de Zinc (%)	7,77	9,86
Poudre de verre (%)	15,55	19,72
Gélatine (%)	11,11	14,08
Eau (%)	21,13	

Au XX^{ème} Siècle et surtout dans la période entre les deux guerres mondiales, l'industrie des allumettes a été dominée par un homme seul Ivar Kreuger qui, à un moment donné, était cru pour avoir contrôlé 75% de la production mondiale. [29]^(*).

Ivar Kreuger était un entrepreneur Suédois, et malgré ses comportements malhonnêtes et illégaux dans les opérations spéculatives, ses activités ont laissé un héritage

(*) Renvoi numéro bibliographique

considérable dans la structure de l'industrie mondiale des allumettes où quelques groupes internationaux ont encore une influence considérable dans beaucoup de pays.

II - CONSIDERATIONS THEORIQUES DE L'ALLUMAGE DES ALLUMETTES.

II-1 LE PROCESSUS DE L'ALLUMAGE

L'allumage d'une allumette est un processus complexe. Il est sous condition normale, une réaction chimique commencée par le frottement produit par friction de la tête d'allumettes sur le frottoir, suivi d'une série de réactions exothermiques et se termine par l'allumage de la tête d'allumette.

Malgré sa longue histoire, l'image théorique de ce processus est encore incomplète si on considère les réactions détaillées y afférentes. Cependant, il est possible d'obtenir un aperçu plus complet en considérant ce phénomène comme des processus pyrotechniques.

II -1-1 Les réactions d'allumage à l'état solide

Le meilleur exemple de cette approche qui a été discuté par Mc Lain [24]^(*) et publié en 1949 par Spice et Staveley sur les réactions solide-solide étant le modèle de boulette comprimée formée d'un agent réducteur (métal en poudre ou oxyde métallique ou une substance organique), et d' un agent oxydant (habituellement un sel oxygéné ou un oxyde).

En variant la nature de ces ingrédients, il est possible de produire des mélanges avec des vitesses de combustion très variables.

La vitesse de combustion est définie comme étant le rapport entre la distance parcourue en centimètre et le temps correspondant en seconde du début des zones incandescentes et le long de la boulette qui est allumée.

(*) Renvoi numéro bibliographique

Les principaux facteurs qui affectent cette vitesse sont :

- La composition des ingrédients
- Les conditions physiques de la boulette
- Les forces de compression de la boulette

Evidement, seules les deux premières variables sont considérées dans l'étude de l'allumage des têtes d'allumettes tandis que la méthode de formation de la tête d'allumettes (composition, degré, et nature des mousses, etc.) était en rapport avec le mélange exothermique des boulettes.

Spice et Stavely ont examiné la combustion lente et rapide de ces mélanges et ils ont classé suivant la chaleur de réaction des oxydants (Kcal/mole).[35] , [19]^(*).

Les mélanges de la Classe I :

Mélanges dont la chaleur de réaction augmente jusqu'à une valeur constante, avec une proportion croissante d'agent réducteur.

Les mélanges de la Classe II :

Mélanges dont la chaleur de réaction augmente de façon continue.

	Fe/en poudre avec	Mo/en poudre avec	Mn/en poudre avec
Class I	BaO ₂	BaO ₂	KMnO ₄
	KMnO ₄	KMnO ₄	KNO ₃
	KNO ₃	Pb(NO ₃) ₂	Pb(NO ₃) ₂
		Ba(NO ₃) ₂	Sr(NO ₃) ₂
Class II	Pb(NO ₃) ₂	KNO ₃	BaO ₂
	Ba(NO ₃) ₂		
	Sr(NO ₃) ₂		

(*) Renvoi numéro bibliographique

Le système : S/BaO₂ appartient à la classe II

D'autres mélanges comprimés tels que Fe /BaO₂ et Fe/K₂Cr₂O₇ subissent des réactions incandescentes d'auto propagation lorsqu'ils sont allumés. S'ils sont chauffés en dessous de ses températures dites " d'allumage ", une réaction non incandescente se produit avec une vitesse mesurable (qui peut être suivie en déterminant la quantité de fer métallique dans le mélange Fe/BaO₂ par exemple).

La propagation de la réaction incandescente est stimulée par le début de la réaction d'auto allumage qui élève la température jusqu'à ce qu'elle devienne possible. Avec la tête d'allumette, ces observations bien difficiles à mesurer montrent que la vitesse et la pression exercée pendant le frottement de la tête d'allumettes se combine pour élever la température jusqu'à une valeur suffisante pour que l'auto allumage puisse avoir lieu.

Il est évident que les réactions incandescentes sont différentes suivant la réaction d'auto allumage des différents mélanges et ne peuvent pas se généraliser facilement. Pour d'autres systèmes de mélanges, la vitesse de réaction peut être changée par auto catalytique spécifique.

La relation entre la vitesse et la chaleur de combustion est donnée par l'équation de le Chatelier.

Pour une composition donnée :

Formule 1 Vitesse de la réaction de combustion (équation de Le Chatelier)

$$V = \frac{Kq}{bC^2d(T_1 - T_0)}$$

V= vitesse linéaire de combustion (cm/s)

K= conductivité thermique

q = chaleur de réaction (par unité de masse)

C= chaleur spécifique

d= densité

b= réaction latérale= f(vitesse de réaction)⁻¹

T₀= température initiale

T₁= température d'allumage (température à laquelle un composant solide peut être allumé, et continue à s'allumer sans une source de chaleur extérieure) [21]^(*)

La réaction entre la chaleur de réaction et la température atteinte est de la forme :

Formule 2 Quantité de chaleur de la réaction de combustion [21]^(*)

$$Q = \int_{T_{i_1}}^{T_{i_2}} C_i dt + \sum L_i$$

Où

C_i = Capacité de chaleur à la température T_i de chaque phase présente pendant le processus d'incandescence.

T_{i_1} , T_{i_2} = Températures limites de chaque phase

L_i = Chaleur latente de chaque phase.

Ces équations présentent une image approximative des différents facteurs contrôlant la vitesse de la combustion d'un mélange comprimé capable de donner des réactions exothermiques.

Cependant la phase d'autoallumage n'est pas considérée alors qu'elle est très importante pendant le frottement de la tête d'allumette.

II –1 –2 Propagation de la flamme depuis le frottement d'une allumette

Pour les allumettes, la chaleur de réaction dépend du type de la composition principale et des détails de formulation (voir chapitre III – 1). Ces facteurs contrôlent aussi la vitesse pour atteindre l'état incandescent et la nature de cet état quand il est atteint.

Une analyse des facteurs physico-chimiques qui impliquent le frottement et le processus de combustion est donné dans le tableau [5].

Cependant, cette analyse n'est que descriptive depuis que son traitement ne tient pas compte des deux traits essentiels de la tête d'allumettes en occurrence :

- 1 - La forme qui est généralement celle d'une poire.
- 2 - La structure physique microscopique basée sur la densité des mousses (donnée par la gélatine), en particulier la dimension de chaque bulle, sa distribution, et son degré de perfection.

(*) Renvoi numéro bibliographique

Par exemple : si une bulle quelconque est endommagée, la vitesse de propagation de la flamme à travers cette bulle est supérieure (différente) à celle de la réaction solide solide considérée précédemment. D'où risque d'éclatement de la tête d'allumettes pendant l'allumage.

Une approche rigoureuse à une expression mathématique des observations peut être faite suivant la formule (3)

Formule 3 Vitesse de propagation d'une réaction incandescente à travers la tête d'allumette [6]^(*)

$$\int_{L_1}^{L_2} V = \frac{Kq}{(T_1 - T_0)} \int_{d_1}^{d_2} d^{-1}$$

En supposant que :

- $V =$ vitesse linéaire de combustion qui changera pendant la propagation de la flamme à travers la tête d'allumettes d'une face à l'autre.
- $B, c, d =$ tous ont des valeurs qui varient avec la densité de la mousse au niveau de la tête d'allumette, donc : Dépendent de la nature et la quantité de la colle (gélatine).
- $l_1, l_2 =$ les distances de propagation de la réaction incandescente (du premier point où T_1 est atteint à travers la tête d'allumettes considérée comme une sphère imparfaite ou ellipsoïde) avec la complication de la tige implantée.
- d_1 et $d_2 =$ les changements de densité de la tête d'allumettes qui sont dus à la dimension moyenne des bulles.

Cette approche est nécessairement incomplète du fait de la difficulté de généralisation de l'équation mathématique de la propagation de la réaction incandescente à travers la forme complexe de la tête d'allumette.

Surtout que le point initial pour atteindre la température T_1 , peut se produire à tout point sur la surface de la tête.

(*) Renvoi numéro bibliographique

Tableau 5 Séquences des opérations pendant le frottement d'une allumette

ACTION PHYSIQUE	ACTION CHIMIQUE	CONTROLE PAR
1. Frottement initial de la tête sur le frottoir	1. Echauffement et frottement de la surface externe	1. L'épaisseur de la couche externe
2. Augmentation du frottement avec pression sur la surface	2. Augmentation de la température à l'intérieure de la tête, avec démarrage de la réaction d'auto allumage, à l'état solide.	2. Vitesse de frottement - la force de pression - la quantité d'eau absorbée
3. Frottement continue avec pression sur le frottoir	3. Début de réaction incandescente avec : a) Propagation de gaz chaud à travers des canaux d'air formés par les écumes de la composition de la tête. b) Propagation de la réaction à l'état solide le long des faces de la tête d'allumettes vide d'air environnant.	3. La dimension de trou moyenne (\varnothing des écumes) La distribution des canaux formés par la composition de la tête par les écumes.
4. Début d'allumage de la tête	4. Réaction incandescente dont la vitesse augmente jusqu'à ce que l'énergie contenue dans la tête (énergie de combustion du mélange) soit totalement utilisée.	4. Les natures des composés exothermiques L'environnement extérieur (humidité)
5. Allumage de la tige depuis l'incandescence de la tête	5. Oxydation des matières cellulosiques ou hydrocarbures formant les tiges d'allumettes	5. Nature de la tige (bois, paraffines, papiers, cartons etc. . L'environnement
6. Allumage continue de la tête	6. Oxydation	6 Nature de la tige (bois, paraffines, etc. . L'environnement
7. Extinction de la flamme	7. Epuisement des combustibles	7. Environnement
8. Afterglow (la dernière lueur)	8. Dépôt de résidu de combustion	8. Nature de la tige

II -1-3 Les réactions chimiques des composants des têtes d'allumettes

La réaction à l'état solide des composants normaux de la tête tels que : chlorate, oxyde, soufre a été étudié expérimentalement [39]^(*) en utilisant l'analyse thermique différentielle avec considération spéciale des réactions de soufre avec les autres composants.

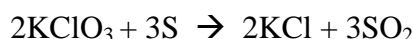
Les principales réactions sont :

Avec le chlorate de potassium : $2\text{KClO}_3 + 3\text{S} \rightarrow 2\text{KCl} + 3\text{SO}_2$

Avec le dioxyde de manganèse : $4\text{MnO}_2 + \text{S} \rightarrow 2\text{Mn}_2\text{O}_3 + \text{SO}_2$

Avec le bichromate de potassium : $4\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + 3\text{S} \rightarrow 4\text{K}_2\text{CrO}_4 + 2\text{Cr}_2\text{O}_3 + 3\text{SO}_2$

Par analyse de Cl^- , ClO^{2-} , ClO_4^- , SO_2 , SO_3 dans ces réactions, la réaction principale dans la composition de la tête est celle entre le chlorate de potassium et le soufre.

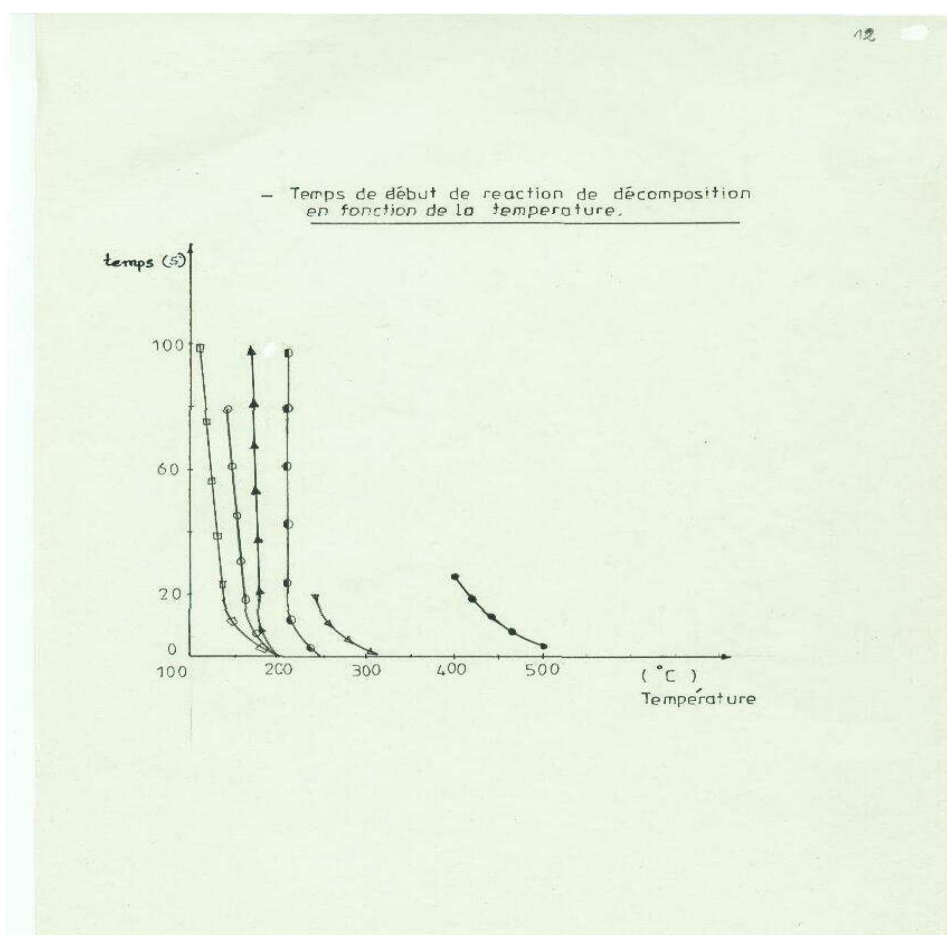


L'excès de chlorate se décompose en chlorure de potassium et ceci est catalysé par le dioxyde de manganèse, le bichromate de potassium et chlorure de potassium (un effet auto catalytique depuis que ce composé est un des produits de la réaction).

Ces effets de décomposition ont été étudiés par mesure des temps de début de réaction en fonction de la température suivant la figure (2).

Figure 1 Temps de début de réaction des mélanges chimiques utilisés des têtes d'allumettes en fonction de la température [6] ^(*)

(*) Renvoi numéro bibliographique



○ KClO_3 / S (50/10wt)

△ MnO_2 / S (50 / 10 wt)

● $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ / S (50 / 10 wt)

▲ KClO_3 / S / MnO_2 (40/10/10)

○ KClO_3 / S / $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (40/10/10)

□ KClO_3 / S / MnO_2 / $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (40/10/5/5)

Les énergies d'activations de ces mélanges (pour des granulométries de 200 mesh)
sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau 6 Energie d'activation des compositions (MnO_2 , KClO_3 , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) [6] (*)

ClO_3 (%)	S (%)	MnO_2 (%)	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (%)	Energie d'activation (kcal)
50	10			12,3
	10	50		16,6
	10		50	30,5
40	10	10		28,4
40	10		10	18,4
40	10	5	5	18,6

(*) Renvoi numéro bibliographique

D'après ce tableau les compositions les plus satisfaisantes contiendront du dioxyde de manganèse et du chlorate de potassium dans une proportion de 1/4 à 1/8. Ce résultat est en accord avec la description très ancienne [28]^(*) du mécanisme de décomposition chimique du chlorate de potassium (en étudiant la réaction du chlorate avec le soufre en absence de catalyseur) et en présence d'oxyde de métal de transition avec un ratio de :

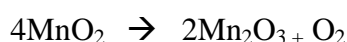
$$\frac{\text{Cation dans l'oxyde de métal}}{\text{Cation dans le chlorate de potassium}} = \frac{1}{5}$$

Et en prenant 580°C la température de décomposition du chlorate

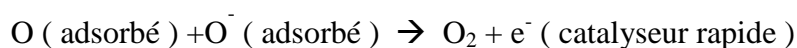
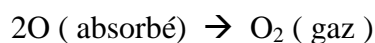
Pour les autres composants les températures de décomposition sont [13]^(*).

CoO.....	350°C.
Co ₂ O ₄	350°C
Fe ₂ O ₄	375°C
ZnO.....	400°C
Al ₂ O ₃	520°C

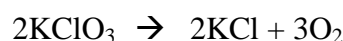
La décomposition du chlorate de potassium a été étudiée par Miravel et Rocchiccioli [25]^(*), Markowitz et Al [23]^(*) Gaidis et Rochow [14]^(*). Et suivant ce modèle le dioxyde de manganèse se décompose comme suit :



On a suggéré que le mécanisme de décomposition de chlorate soit



De plus cette décomposition est confirmée par Glinka qu' en présence d'un catalyseur le chlorate de potassium se décompose d'après [31]^(*) :

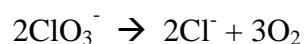
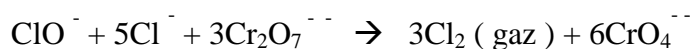


(*) Renvoi numéro bibliographique

et en absence d'un catalyseur comme :



La réaction entre le chlorate et le bichromate qui peut se produire dans la tête d'allumettes est aussi comme



II – 1-4 Mécanisme d'allumage d'une allumette de sûreté

Les compositions standards d'une allumette de sûreté considérées par Shidlovsky [33]^(*) et citées par Person [28]^(*), suggèrent, deux hypothèses alternatives pour le mécanisme d'allumage

Tableau 7 Composition standard de Shidlovsky [32]^(*)

Matières	Composition tête %	Composition frottoir %
Phosphore rouge		37,2
Sulfite d'antimoine (Sb_2S_3)		33,5
Gélatine animale	11	9,3
Dextrine		7
Oxyde de fer (Fe_3O_4)	6	7
Dioxyde de Manganèse	4	3,4
Carbonate de calcium		2
Poudre de verre	15	0,6
Chlorate de Potassium	51	
Soufre	5	
Oxyde de Zinc	7	
Bichromate de Potassium	1	

(*) Renvoi numéro bibliographique

Avec cette composition Feilitzen et Thulin [12]^(*) suggèrent le mécanisme :

1^{er} Hypothèse

Phosphore rouge → phosphore blanc (réactif)

Phosphore blanc (réactif) + air → oxyde de phosphore + chaleur

Chaleur + chlorate de potassium + soufre → allumage

Cette hypothèse suppose que la température de la transition entre le phosphore rouge en phosphore blanc est atteinte pendant l'allumage. Mais ce phénomène paraît être improbable, d'où l'intervention d'une autre hypothèse : décrite par Ellern [11]^(*), et suggérée par Siegel [34]^(*), qui dit que :

2^e Hypothèse

Chlorate de potassium + Phosphore rouge → chaleur.

Chaleur + chlorate de potassium + soufre → allumage.

Avec ces 2 hypothèses, d'autres agents de combustion convenables peuvent remplacer le soufre

II – 2 LES TEMPERATURES DE COMBUSTION

Une étude expérimentale des températures de combustion de la tête d'allumette, (en utilisant une méthode pyrotechnique), a montré que les températures de flamme initiale sont voisine de 1350°C à 1930°C, en utilisant une composition de chlorate de 41, 8 à 43%.

Cette température croît jusqu'à une certaine valeur et reste constante quelle que soit la composition du chlorate de potassium [2]^(*).

Tableau de variation de température de combustion suivant la quantité de chlorate utilisée

(*) Renvoi numéro bibliographique

Tableau 8 **Variation de température de combustion suivant la quantité de chlorate utilisée [6]^(*)**

KClO ₃	40,8	41,3	41,8	42,2	43
Température de la flamme (°C)	1390	1460	1500	1500	1500
Chaleur de combustion de composé (kcal / kg)	765	807	882	895	965

La stabilisation de la température de la flamme est obtenue pour une composition de chlorate de potassium de 41,8 %. Cette stabilisation indique que le chlorate agit comme un simple agent oxydant.

II – 3 MORPHOLOGIE DES COMPOSANTS DE LA TETE

Des études françaises [22], [1]^(*) ont montré, en utilisant une photographie ultra rapide de la flamme, que la morphologie du chlorate de potassium a une influence considérable sur la qualité des allumettes.

Pour une composition expérimentale de base de :

Solution de gélatine à (25%):..... 25%
 Sulfite d'antimoine :..... 10%
 Chlorate de potassium :..... 25%
 Eau..... 5%
 Autres.....35%

La forme normale du chlorate de potassium est un cristal de losange qui est relativement amincie par rapport à sa largeur. Cette apparence est la forme la moins satisfaisante.

Il existe d'autres formes de cristal :

- arrondi (presque sphérique)
- en plaque plate
- en aiguille

(*) Renvoi numéro bibliographique

Avec ses variétés de structures de chlorates, l'allumette produite devient plus fiable au point de vue qualité et s'allume plus facilement qu'avec le chlorate de forme normale.

On peut obtenir ces différentes formes de cristaux de chlorate en additionnant dans une solution saturée de chlorate de potassium 0,1% de composé organique dissout dans de l'eau ; puis mélanger avec la composition de la pâte.

Dans cette étude la vitesse de combustion a été déterminée, en remplissant un tube de fer en U par la pâte à étudier, puis allumer le bout de fer et mesurer le temps mis pour atteindre l'autre bout par combustion.

On peut utiliser d'autre méthode pour mesurer la vitesse de combustion, exemple par une technique de frottement.

Les composés organiques utilisés pour obtenir les différentes formes de cristaux de chlorates sont donnés dans le tableau ci dessous:

Tableau 9 Différentes formes de cristaux de chlorate de potassium [6]^(*)

Composés organiques	Mode de préparation	Forme obtenue
Violet : S4B Ou paraffine sulfatée.....	Cristallisation.....	Aiguille
Rouge de Congo	Solution.....	Laminée
Bleu.5R.....	Solution.....	Cristaux minces
Diazolz 4BS.....	Petite sphère

II – 4 COMMENTAIRE GENERAL

Sur toutes les considérations précitées, il est suggéré que les variables les plus importantes de la composition de la tête d'allumettes, pour avoir une bonne qualité d'allumettes sont :

La forme et les caractéristiques des écumes de la colle gélatine.

(*) Renvoi numéro bibliographique

Pour la plupart des cas, ces variables sont en rapport très étroit avec la composition de la colle et les agents de surface actifs présents.

Les spécifications exactes de la colle gélatine telles que :

- la force de gel,
- la viscosité,
- le point de fusion,
- le point de solidification,
- les caractéristiques des bulles qui sont aussi très importantes pour la production.

III - PRINCIPE DE FORMULATION DES COMPOSITIONS DES TÊTES D'ALLUMETTES

III –1 FORMULATION DES PRODUITS CHIMIQUES POUR LES ALLUMETTES DE SÛRETÉ

Le principe de base de formulation de composition de la tête d'allumettes est la quantité d'oxygène nécessaire qui devrait être présente pour assurer la combustion des différents composants contenus dans le mélange de la tête d'allumettes.

A cet effet, le chlorate de potassium KClO_3 est la source préférée d'oxygène. Il y a d'autres donateurs mais ils ont des inconvénients et ne sont généralement pas utilisés . Un exemple typique est le chlorate de sodium : NaClO_3 qui est un oxydant très hygroscopique et rarement utilisé. De plus la libération d'oxygène est très lente et rend difficile l'allumage des allumettes.

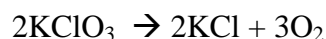
Cependant, les autres donneurs d'oxygène tels que le perchlorate et le nitrate de potassium (KClO_4 , KNO_3) sont déconseillés pour usage en allumette du fait de leur sensibilité d'exploser très facilement, on les utilise plutôt dans les domaines pyrotechniques.

Pour la formulation, l'oxygène disponible dans la composition de la tête d'allumettes devrait être en excès par rapport au volume réel nécessaire pour la combustion complète du soufre de la colle organique (gélatine), et de tous les autres combustibles qui constituent les composantes de la tête d'allumettes.

D'après l'expérience, un excès de 15% en oxygène est recommandé surtout pour des allumettes utilisées dans des climats humides.

Les données expérimentales suivantes sont utilisées par HARTIG pour les calculs de formulation.

Décomposition de chlorate : suivant la théorie de Glinka



1 Kg de KClO_3 dégage 0,3917kg d'oxygène

La gélatine qui a une composition élémentaire variable a approximativement comme composition

C : 50%

N : 17,8%

O : 25,2%

S : 0,4%

Supposer que l'oxygène présent contribue à la combustion et l'azote ne participe pas à la réaction.

Alors :

1 kg de colle gélatine consomme approximativement 0,88 m³ d'oxygène.

1kg de soufre consomme approximativement 0,7m³ d'oxygène.

Donc en résumé suivant HARTIG le principe fondamental de balance d'oxygène dans la composition de la tête est :

1 kg de KClO_3 dégage : 0,3917 kg d'oxygène

1 kg de colle gélatine consomme : 0,88 m³ d'oxygène

1 kg de soufre consomme : 0,7 m³ d'oxygène

Et il faut 15% d'excès d'oxygène dans la composition de la tête d'allumettes.

Exemple 1 :KClO₃.....45%

S.....5%

Colle animale..... 15%

Autres compositions (non réactives.....35%.)

L'oxygène nécessaire est :

Le soufre consomme : $5 \times 0,7 = 3,5 \text{ m}^3$ La colle consomme : $15 \times 0,88 = 13,2 \text{ m}^3$
16,7 m³15% d'excès = 2,5m³Besoin total en O₂ = 19,2 m³Soit $\frac{19,2 \times 32}{22,4} = 27,42 \text{ kg d'oxygène}$

L'oxygène libéré par le chlorate suivant la formule de décomposition de Glinka est :

 $45 \times 0,3917 = 17,62 \text{ kg d'oxygène.}$

Donc les allumettes faites avec cette formule ne s'allumeront pas d'une manière satisfaisante.

Exemple 2KClO₃.....53%

S.....5%

Colle..... 10%

Autres..... .33%

L'Oxygène nécessaire est :

Le soufre consomme : $5 \times 0,7 = 3,5 \text{ m}^3$ La colle consomme : $10 \times 0,88 = 8,8 \text{ m}^3$ Total 12,3 m³15% d'excès = 1,85 m³Grand total 14,15m³Soit : $\frac{14,15 \times 32}{22,4} = 20,2 \text{ kg d'oxygène}$

L'oxygène libéré par le chlorate est de :

$$53 \times 0,3917 = 20,76 \text{ kg}$$

Cette formulation produit une allumette de bonne qualité.

La formule des produits chimiques dans les industries d'allumettes a été considérée comme un secret pendant plusieurs années à cause de l'influence de plusieurs intérêts de monopole. En effet beaucoup de produits chimiques ont été ajoutés avec une petite ou sans aucune valeur utilitaire. Ces matières sont essentiellement : le thiosulfate, le monoxyde de plomb PbO, le sulfate de Barium, le talc, le kaolin etc.

D'une manière générale, les directives suivantes devraient être utilisées pour la formulation des composants de la tête au cas où il est nécessaire de changer la composition chimique du mélange.

- (1) Quand d'autres matières combustibles sont introduites, il faut équilibrer la quantité de chlorate en tenant compte l'excès d'oxygène.
- (2) Pendant la saison froide, une quantité supplémentaire de chlorate est ajoutée mais ne dépassant pas 57%. Cette augmentation devrait être ajustée en réduisant par exemple la quantité des autres matières considérées comme charges.
- (3) Une augmentation de la quantité de soufre entraîne une augmentation de la température d'allumage de la tête (très pratique pendant la saison froide). Mais il ne faut pas oublier d'équilibrer le chlorate nécessaire.
- (4) La vitesse de combustion de la tête dépend de la quantité d'oxyde de zinc, dans la composition.
- (5) Toutes augmentations ou baisses des quantités de matières actives devraient être équilibrées par des ajustements des quantités des poudres de verres.

Dans des conditions très humides, l'usage des colles synthétiques est suggéré. On utilise parfois une émulsion d'acétate de polyvinyle (50 – 55 % solide) avec du propionate de vinyle en émulsion.

IV LES TECHNIQUES DE FABRICATION D'ALLUMETTES

Beaucoup d'opérations sont nécessaires dans la fabrication des allumettes, mais avant de se lancer dans la fabrication proprement dite, il faut bien choisir le type d'allumettes qu'on veut obtenir.

- La séquence des différentes opérations, comme variables physiques, le choix des matières.
- Les conditions de service : disponibilité des produits chimiques et les autres matières premières (approvisionnement en bois pour les techniques de tiges en bois)
- Les coûts de fabrication
- La part du marché
- L'organisation de la production.

Si ces conditions sont remplies, on peut déterminer le type d'allumettes qu'on peut produire économiquement.

Pour poursuivre notre étude, nous citons quelques définitions dans un premier temps, ensuite quelques types de fabrications et enfin dans l'étude de fabrication des allumettes de sûretés à tiges paraffinées qui fait l'objet de notre étude.

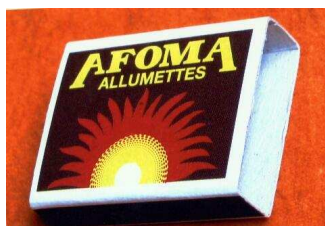
IV -1 DEFINITION

Une boîte d'allumettes consiste en une boîte extérieure, une boîte intérieure et des tiges

IV-1-1 Boîtes extérieures

C'est un système unitaire complet d'allumage de forme géométrique rectangulaire et parallélogramme

Photo 1 Boîte extérieure



Toute la surface du rectangle est enveloppée par du papier avec une étiquette commerciale : (boîte en bois) et dont les deux côtés sont enduits d'une couche chimiquement active appelée frottoir.

La boîte extérieure peut être en bois ou en carton (photo (1)) suivant la technique utilisée.

IV-1-1-1 Boîtes extérieures en bois

Le bois utilisé est le plus souvent traité, puis coupé sous forme de bûche et finalement épluché ou décapé par des machines spéciales pour avoir une épaisseur de 0,7 mm en générale.

La dimension normale d'une boîte extérieure en bois est de 52 mm x 37,2 mm x 15mm.

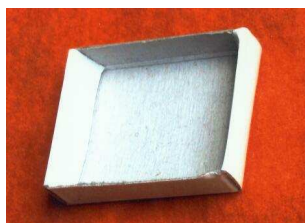
IV – 1-1-2 Boîtes extérieures en carton

On utilise des cartons de grammage : 350gr/m^2 couchés en une face généralement : (ce type de boîte est semblable à celle d'AFOMA).

IV-1-2 Boîtes intérieures

C'est un système analogue aux boîtes extérieures mais leurs formes sont un peu différentes, à cause de leur capacité à contenir des tiges à l'intérieur.

Photo 2 Boîte intérieure



Comme les boîtes extérieures, elles peuvent être aussi en carton ou en bois

IV-1-3 Tiges

IV -1 -3 -1 Tiges en bois

C'est un modèle géométrique en bois sous forme de parallélogramme allongé de base carrée de 2mm^2 et de longueur de 40 mm.

Photo 3 Tige en bois



IV -1-3-2 Tiges en carton

Elles sont fabriquées avec des cartons très épais (grammage : 500g/m^2). Ces variétés de tiges sont utilisées dans les allumettes dites de poche.

IV -1-3-3 Tiges paraffinées

Ces tiges d'allumettes étaient très sollicitées à l'époque car, elles utilisaient de la paraffine et du papier.

Elles ont aussi l'avantage de rester toujours allumées jusqu'à la combustion complète de toute la tige (pouvoir de combustibilité aidé par la paraffine).

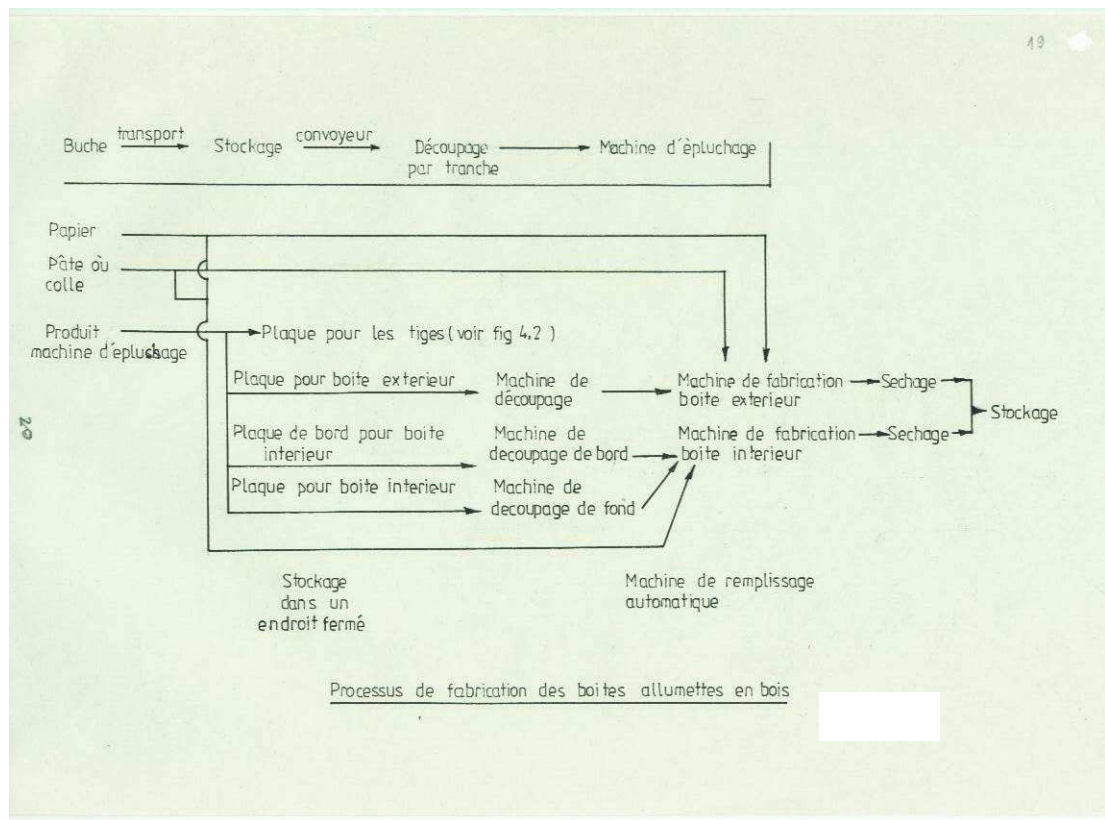
IV –2 LES DIFFERENTS TYPES DE FABRICATION D'ALLUMETTES

IV-2-1 Fabrication des allumettes à tiges et boîtes en bois

Pour mieux comprendre les processus de fabrication, nous présentons sous forme de schéma simplifié les différentes étapes de fabrication.

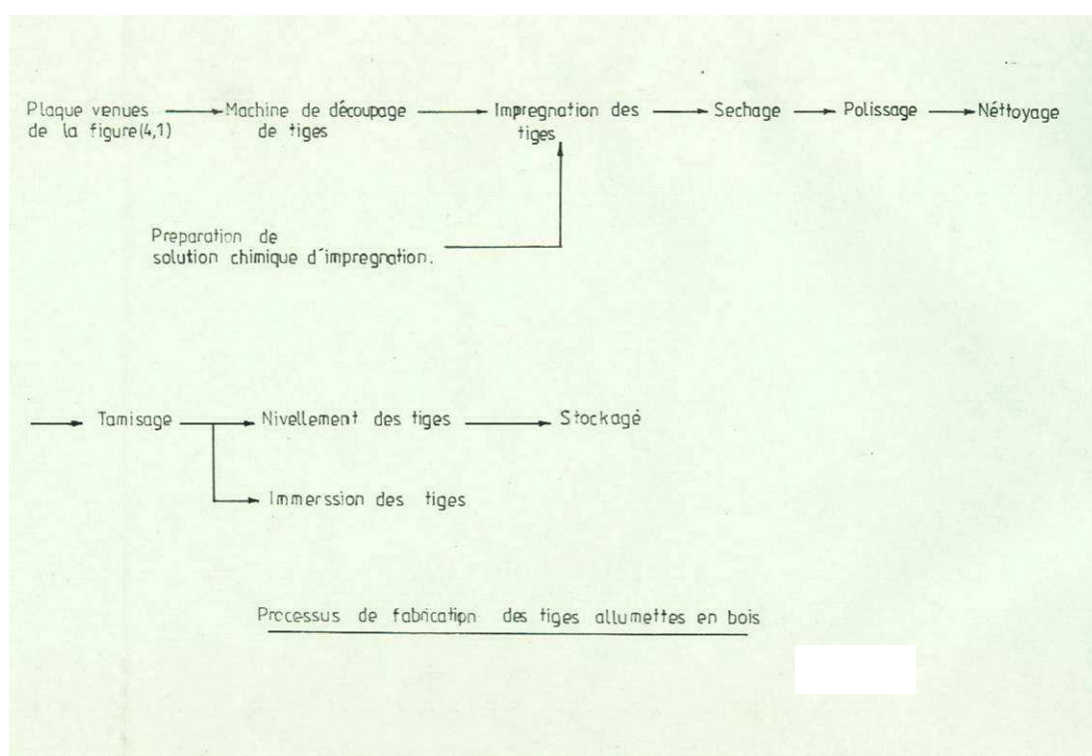
IV-2-1-1 Processus de fabrication :

Figure 2 Processus de fabrication des allumettes à tiges et boîtes en bois [6]^(*)



(*) Renvoi numéro bibliographique

Figure 3 Processus de fabrication des allumettes à tiges en bois [6]^(*)



IV-2-1-2 Préparation des bois

Les principales opérations sont :

IV-2-1-2-1 Stockage des bois

Pour les allumettes en bois, dès le début du processus, il faut garder le bois à utiliser au frais au tant que possible, le protéger des mousses, des insectes et des bactéries.

Deux méthodes sont utilisées généralement :

a) Stockage en surface

Les bûches sont empilées sur des rails espacés et inclinés (1/50) d'inclinaison par rapport à la base.

Les bûches ainsi installées sont vaporisées par une solution chimique diluée au moyen d'un appareil d'arrosage, de haut en bas, de façon à ce que tous les bûches soient imprégnées de produits chimiques.

(*) Renvoi numéro bibliographique

A l'aide de la pente inclinée, les solutions chimiques sont récupérées en bas après avoir subi un système de filtration et recyclées de nouveau. La surface de stockage est couverte pour protéger les bûches de la lumière directe du soleil.

b) Stockage dans un réservoir :

Les grosses bûches sont chargées dans des réservoirs contenant de produits chimiques de traitement (même produit que précédemment) que l'on renouvelle tous les mois pour éviter les odeurs suffocantes du mélange. Les réservoirs sont aussi couverts à l'abri du soleil.

IV-2-1-2-2 Traitement des bois

Solution chimique de traitement

- a) Pour le traitement des mousses : c'est une solution de 5ppm de (CuSO_4 , H_2O) dans de l'eau
- b) Pour le traitement des insectes nuisibles : une solution contenant : 1 kg d 'acide borique dissout dans l'eau chaude, ajoutée à une solution contenant 3 kg de ZnCl_2 et 4 kg de $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, le tout ramené à 100 litres.

IV-2-1-3 Fabrication des tiges en bois

IV-2-1-3-1 Epluchage

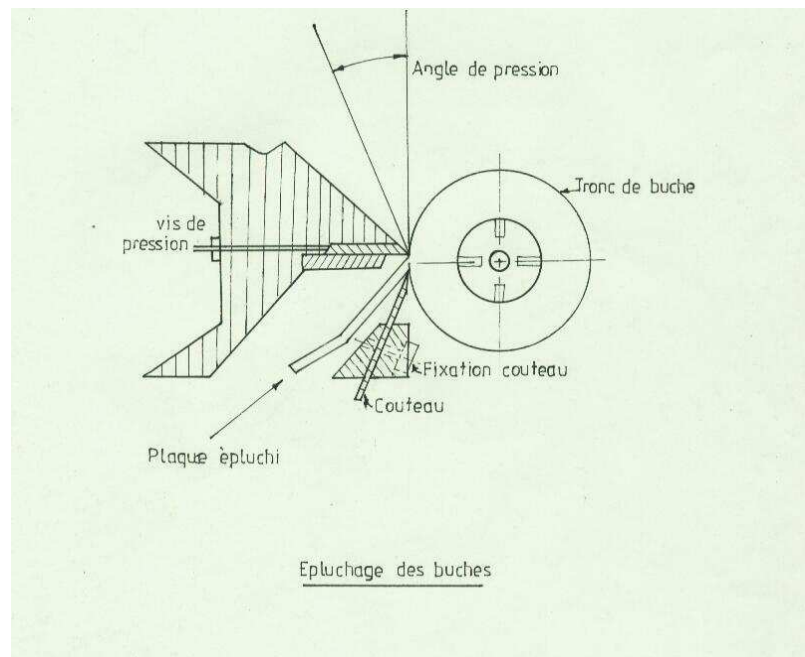
Les grosses bûches sont coupées en petits morceaux en utilisant des scies circulaires ou scies à mouvement rotatif. La dimension des petites bûches dépend de la machine d'épluchage, des dimensions des boîtes et tiges voulues.

Par exemple : pour une largeur de came de 457,2 mm de la machine d'épluchage, les boîtes produites sont de 52mm x 37,2mm x 15mm.

Les machines d'épluchage sont simples et faciles à manipuler, elles servent à éplucher les bûches ainsi préparées, pour obtenir des plaques ou feuilles de bois très minces nécessaires à la suite de la fabrication.

Elles sont constituées principalement de lames (guillotines) en mouvement alternatif très précis et en synchronisation parfaite à l'avancement du tas de plaques à découper.

Figure 4 Machine d'épluchage [6](*)

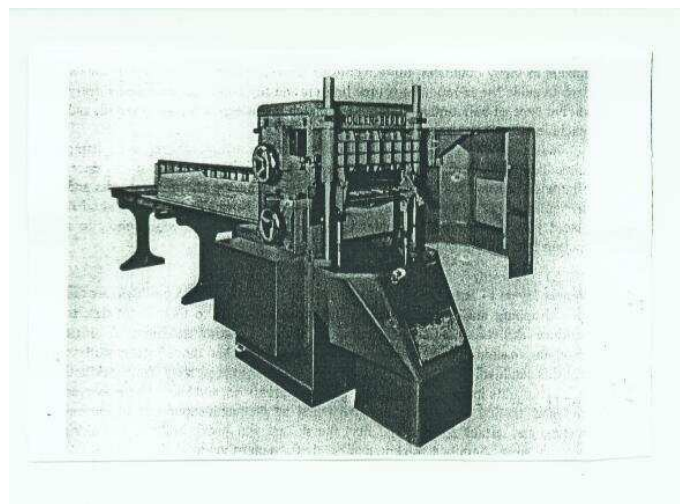


Par exemple : une lame de largeur 457,2 mm est utilisée pour avoir une plaque de 0,7 mm d'épaisseur , une boîte de dimension 52 mm x 37,2 mm x 15 mm et une tige de longueur 42 mm

IV-2-1-3-2 Découpage des tiges

En général, pour la production des tiges en bois, on utilise des plaques de 1,85 à 2,2 mm d'épaisseur qui sont par la suite découpées pour avoir une longueur bien déterminée de 42 mm

.Photo 4 Machine de découpage des tiges.



(*) Renvoi numéro bibliographique

Une seule machine d'épluchage peut être utilisée à la fois comme producteur de plaque pour les boîtes extérieures, intérieures et tiges. Mais ce système est déconseillé pour les raisons suivantes :

- Pour une plaque donnée, elle doit être parfaitement sans défaut (sans rayure, sans nœud, etc.) pour pouvoir produire en même temps, des boîtes extérieures, intérieures, et tiges.

Alors qu'une plaque avec un nœud au milieu peut être encore utilisée pour produire des tiges.

Donc beaucoup de déchets.

- On peut aussi avoir une perte de temps considérable, car à chaque variété de production, il faut régler la machine avant de démarrer

IV-2-1-3-3 Coloration et imprégnation

Les tiges sont imprégnées par des produits chimiques spéciaux qui résistent au feu, pour éviter la propagation des masses incandescentes après l'extinction des flammes.

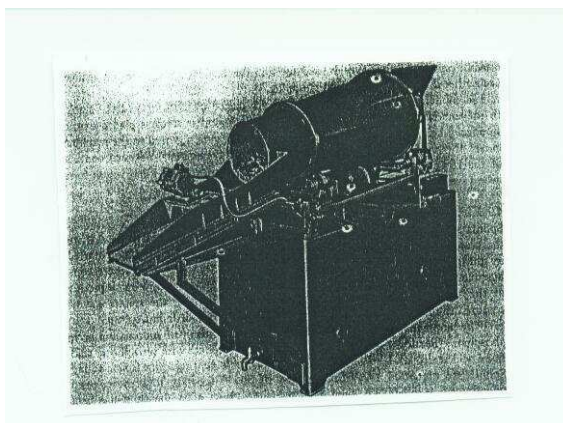
De plus elles peuvent être colorées pour avoir des couleurs plus attirantes de la tête par une couleur différente. La solution d'imprégnation est une solution de 3% de phosphate de monoammonium ou d'un mélange de phosphate avec de l'acide phosphorique ou d'acide borique. Dans tous les cas, 1% d'agents mouillants convenables sont aussi ajoutés.

Les tiges sont complètement immergées, pendant une période de 35 à 40 secondes dans la solution qui est maintenue entre 50-60°C, puis retirées et laissées sécher.

Ce processus peut être effectué manuellement par des systèmes appropriés, mais dans tous les cas, il faut le faire très vite (40s maximums), pour éviter la détérioration interne des fibres des tiges. On peut citer comme teinte utilisée :

- bleu victoria,
- violet de méthyle,
- auramine jaune,
- rhodamine (0,1%),
- alumine (1%) (pour une coloration plus forte).

Photo 5 Machine d'imprégnation



IV-2-1-3-4 Séchage

Dans les pays tropicaux où la lumière du soleil est disponible presque toute l'année, le séchage des tiges est effectué à l'air libre, avec une couche de 10 mm de tiges. Avec ce système, le séchage complet des tiges dure 5 à 6 h.

Il existe d'autres méthodes de séchages (séchages par air chaud), où les tiges sont ventilées par des flux d'air chaud régulier. Cette méthode de séchage permet de gagner du temps suffisamment court ; 45 –60 mm par rapport au séchage à l'air libre et de traiter une quantité très importante de tiges en même temps.

Le séchoir mécanique est relativement cher, mais peut être conçu convenablement et fabriqué localement. Voici quelques traits caractéristiques du système de séchage mécanique :

- a) L'air chaud est ventilé à travers un lit de tiges humides qui seront séchées rapidement.

Les expériences ont montré que pour des tiges de dimensions 42 mm x 2 mm x 2 mm, 135kg d'eau sont évaporées par 10^6 tiges.

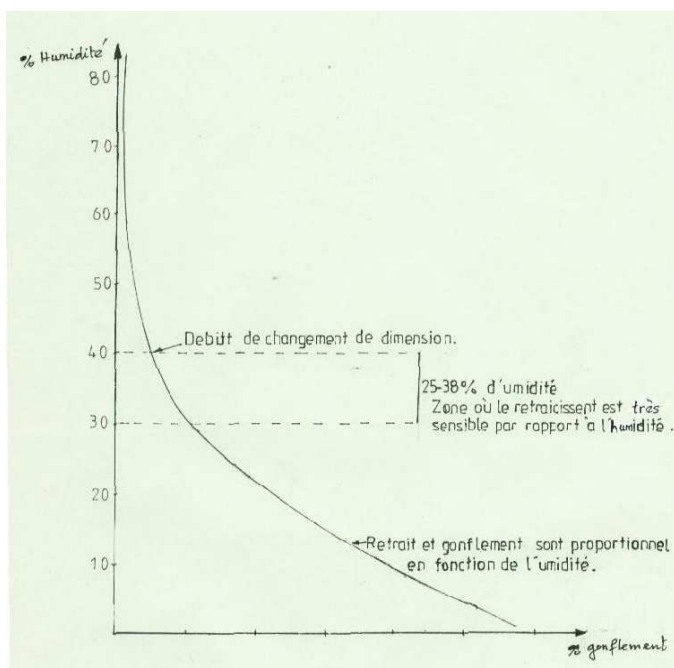
Approximativement 1800m^3 d'air vaporisent 1kg d'eau pour chaque gradient de température de 5°C .

- b) L'air chaud n'exige pas un régulateur de température, sa température peut être élevée jusqu'à 200°C sans endommager les tiges contrairement à la plaque.

Sécher, c'est diminué la quantité d'eau existant dans des tiges. Donc modification des aspects physiques externes et internes (au niveau des plaques).

Cette modification est représentée par la courbe suivante :

Figure 5 Quantité d'eau retenue en fonction de la température dans une plaque [6]^(*)



La vitesse et le temps de séchage peuvent être contrôlés en réglant la vitesse de chargement des tiges du séchoir. En général, le volume d'écoulement d'air, la température et la vitesse de circulation d'air déterminent la capacité du séchoir. La vitesse de l'air à travers le lit des tas de tiges doit être maintenue à 70 m / mn.

IV-2-1-3-5 Polissage

Les tiges séchées sont rugueuses avec des fibres et bords tranchants qui doivent être enlevés pendant l'opération de polissage.

Le polissage des tiges consiste à charger les tiges sèches dans un tambour roulant, de forme cylindrique ou hexagonale, perforé de trous à travers lesquels les poussières de

(*) Renvoi numéro bibliographique

bois et fibres sortent et tombent dans un autre tambour stationnaire et sont débarrassées par aspiration à travers un cyclone.

Un autre système de polissage consiste à faire frotter les tiges entre eux et dans ce cas, le tambour est légèrement incliné et les tiges sont animées de mouvement de rotation et de translation.

Le polissage est contrôlé par le temps de rotation du tambour, la quantité des tiges à l'intérieur et la vitesse de rotation.

La vitesse normale de rotation est de 30tr/mn

IV-2-1-3-6 Nettoyage

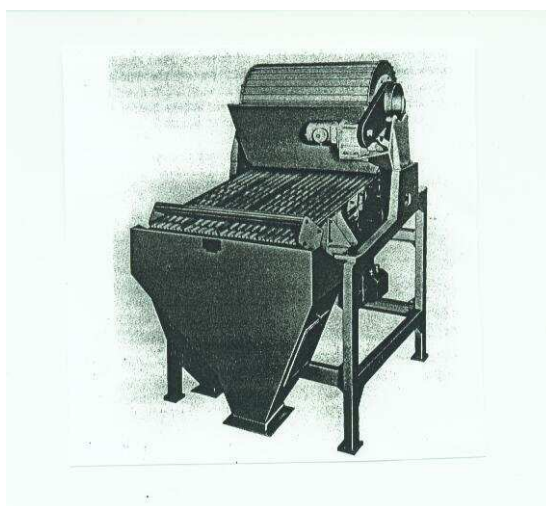
Après le polissage, une quantité non négligeable de tiges courtes est enregistrée.

Le but du nettoyage est de séparer ces tiges courtes des tiges de longueur normale (42 mm) en faisant passer une couche mince de tiges sur un plateau incliné perforé, et animé d'un mouvement alternatif de va et vient de façon à ce que chaque tige passe par 5 ou plusieurs trous avant de traverser le plateau.

La dimension des trous dépend de la longueur des tiges produites. Par exemple, pour une longueur de 42 mm, le diamètre des trous du plateau doit être de 17mm.

Avec ce système, les tiges courtes passent facilement à travers le plateau et sont séparées normalement.

Photo 6 Machine de nettoyage

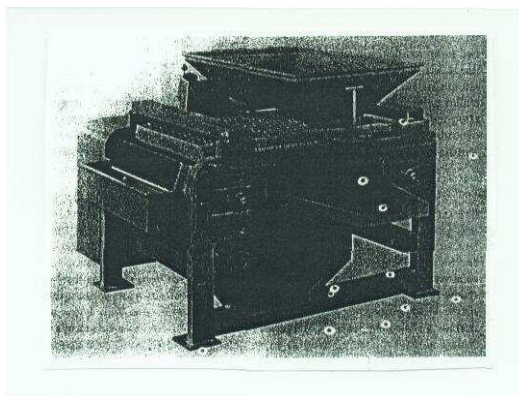


Pendant le processus de nettoyage, les tiges longues ne sont pas séparées des tiges normales d'où la nécessité de l'opération de tamisage.

IV-2-1-3-7 Tamisage

Les tiges préalablement nettoyées sont tamisées par une ceinture vibrante perforée et légèrement inclinée à travers laquelle, les tiges épaisses et longues sont séparées des tiges normales, qui sont déversées par la suite sur un transport en bande vibrante pour les amener dans une autre machine de nivellement des tiges

Photo 7 Machine de tamisage



IV-2-1-3-8 Nivellement des tiges :

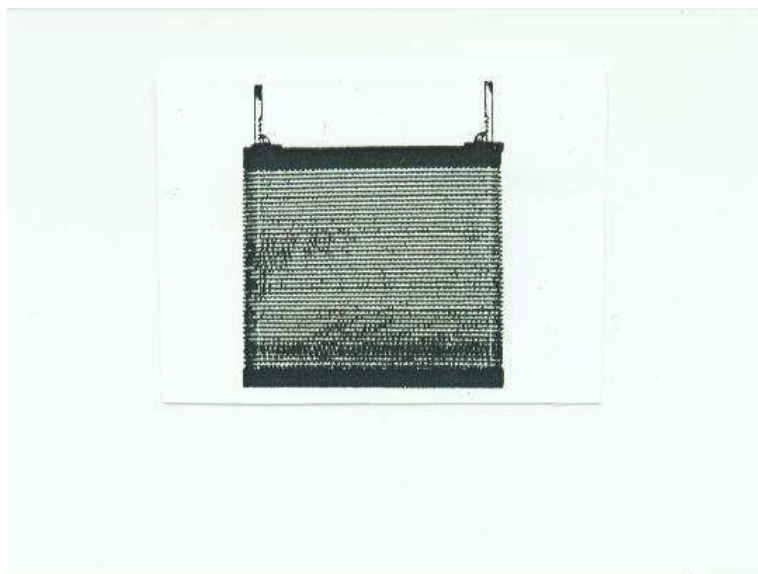
Les tiges tamisées sont introduites dans la machine à niveler où elles sont redressées à travers des lignes avec des rainures légèrement plus larges que l'épaisseur des tiges. Les tiges nivelées sont récupérées dans un plateau pour l'opération suivante.

IV-2-1-3-9 Remplissage cadres

Les tiges nivelées sont rangées horizontalement, avec des intervalles bien déterminés, entre deux lattes dans un cadre.

Cette opération peut être effectuée manuellement ou par machine.

Photo 8 Cadre rempli de tiges sans têtes



IV-2-1-3-10 Immersion :

A - Préparation de la pâte chimique de la tête

On a deux phases de préparation :

- a) Tous les produits chimiques entrants dans la composition de la tête d'allumettes autres que l'explosif sont mélangés et broyés dans une machine spéciale
- b) Après quelques minutes de broyage, l'explosif est versé dans le mélange avec une très grande attention pour éviter tout risque d'explosion (contact direct de l'oxydant et réducteur)

Pendant le broyage, il faut vérifier la température du mélange par un système de refroidissement contrôlé (température $\leq 35^{\circ}\text{C}$) et que la densité de la pâte doit être comprise entre 1,33 et 1,35.

Après avoir obtenu ces conditions, on arrête le broyage et la pâte chimique de la tête est prête pour l'opération suivante d'immersion.

B - Immersion

La pâte de la tête est étendue sur une table métallique parfaitement plane chauffée entre 34 à 36°C. Les tiges sont préalablement rangées verticalement et régulièrement dans des cadres, par la machine de « remplissage cadre » suivant la photo (8).

La technique d'immersion consiste à immerger les pointes de ces tiges dans la pâte précédente de façon à ce qu'elles soient immergées jusqu' à une longueur de 5 à 6 mm.

Cette opération peut être réalisée manuellement ou par machine selon la technique utilisée.

Pour avoir une forme exacte de la tête d'allumettes(forme d'une poire ; cf chapitre II – 1-2)

Il existe une formule qui relie la longueur de la tête, le diamètre de la tête et l'épaisseur de la tige

Formule 4 Dimension des tiges d' allumettes

$$\underline{L} = 2,4 - 2,5$$

T

$$\underline{D} = 1,5 - 1,6$$

T

Où

L = longueur de la tête

T= épaisseur de la tige

D= diamètre de la tête

On peut varier la longueur de la tête en variant l'épaisseur de la pâte étendue sur la table.

Le diamètre de la tête est aussi fonction de la densité et de la viscosité de la pâte.

La densité dépend de la composition des produits chimiques et de la quantité d'eau utilisée dans la formulation.

Après l'opération d'immersion, la pâte est fixée sur chaque bout de tige pour devenir une tête d'allumettes et dont la forme est généralement celle d'une poire, ou ellipsoïde (chapitreII-1-2)

Photo 9 Tête d'allumettes avec sa forme ellipsoïde



IV-2-1-3-11 Séchage

Le séchage consiste à faire évacuer l'eau du mélange de la composition de la tête. Les têtes devraient être séchées dans des conditions très strictes de température et du temps. D'une manière générale, la durée de séchage est de 60 mn avec une température de 50 – 60°C. Ce n'est qu'après le séchage des têtes d'allumettes que la production des tiges est terminée.

IV-2-1- 4 Fabrication des boîtes en bois

IV-2-1-4-1 Fabrication des boîtes extérieures :

Le processus de fabrication des boîtes extérieures en bois est initié par la préparation des colles (amidon ou farine mélangée avec de la soude) et des pâtes du frottoir, puis la préparation des plaques pour les boîtes extérieures, ensuite la préparation du papier pour l'emballage des plaques de fond et enfin la production des boîtes extérieures. (Voir figure(2)).

Les plaques produites par l'opération d'épluchage sont introduites dans la machine de préparation de plaque pour boîtes extérieures, avant de passer finalement dans la machine de production boîtes extérieures proprement dite. Les boîtes complètement formées sont poussées hors du mandrin de la machine et projetées sur un porteur ou panier. La vitesse moyenne de fabrication est de 150 boîtes /mn.

IV-2-1-4-2 Fabrication des boîtes intérieures

Les plaques du bord utilisées par les boîtes intérieures ne doivent pas être séchées trop longtemps afin de ne pas casser lors du pliage (la plaque du bord est pliée avec des points de marquage à l'extérieur)

Le processus de fabrication est le même que ce de la boîte extérieure telle que :

- Préparation des colles
- Préparation des plaques de bord
- Préparation des plaques de fond

Nous pouvons voir ces préparations suivant la figure (2)

Le débit de la production est de 140 – 150 boîtes/mn.

Il existe des différents systèmes que nous ne mentionnons pas dans cet ouvrage.

IV-2-1-5 Conditionnement

.

Le conditionnement consiste à rassembler les boîtes extérieures, intérieures et tiges, pour former un ensemble qu'on appelle : **boîte d'allumettes**.

Le conditionnement peut être réalisé manuellement ou par des machines appropriées. Mais dans tous les cas, il consiste à remplir les boîtes intérieures par des tiges avec têtes, et les boîtes remplies sont introduites dans les boîtes extérieures (enduisées ou non de frottoir selon le processus adopté).

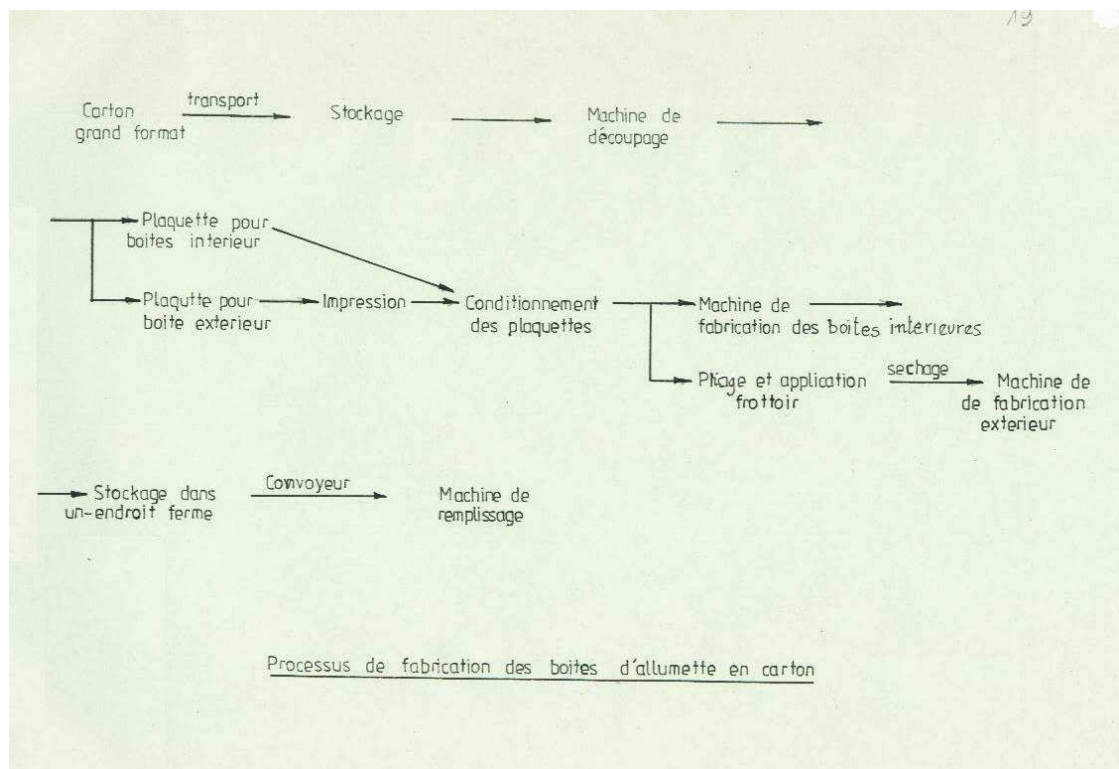
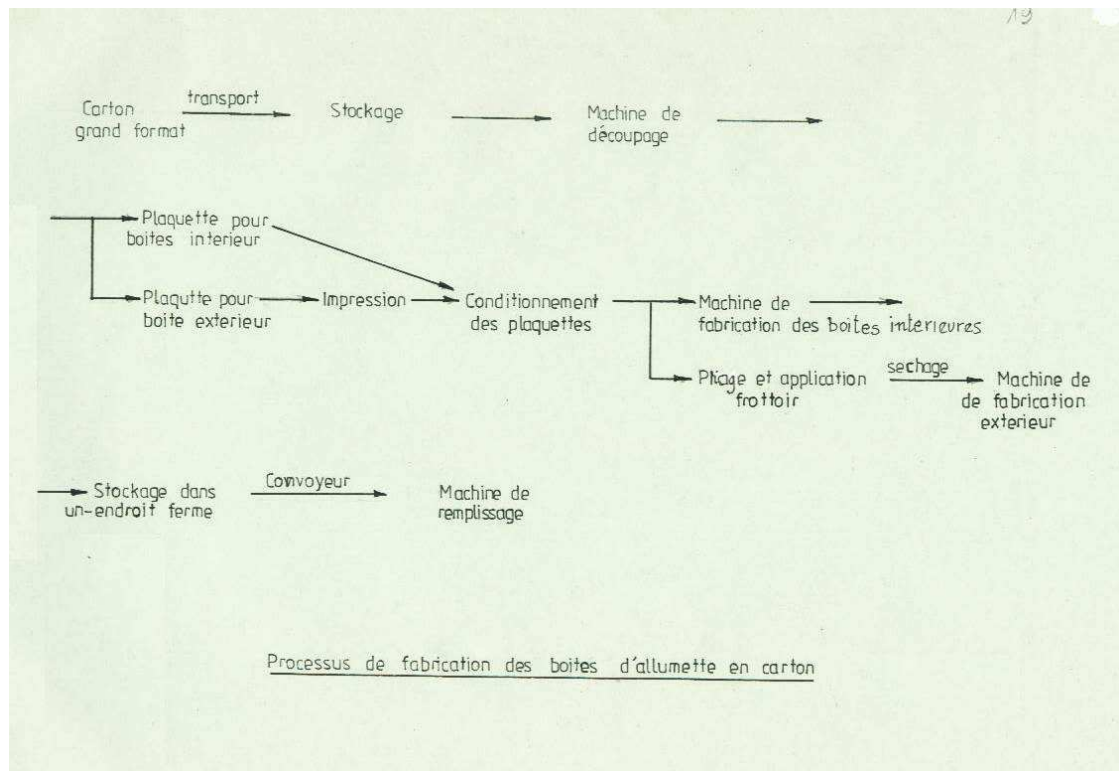
Ensuite les boîtes d'allumettes sont emballées par 10 ou 12 boîtes dans un premier temps, avec des emballages appropriés puis par 100 ou 120 (10 paquets de 10 ou 12 boîtes) par d'autre emballage et finalement (selon le cas) en 1000 ou 1200 boîtes dans un cartons.

IV-2-2 Fabrication des allumettes à tiges en bois et boîtes en carton

.IV-2-2-1 Boîtes extérieures en carton

On utilise généralement des cartons de grammage 350 gr / m². Après plusieurs procédés de préparation, les cartons passent d'abord par une machine d'application frottoir ensuite séchés par un système de séchage approprié et enfin, introduits dans la machine de production boîtes qui peut opérer avec un débit de 100 à 1000 boîtes /mn.

Figure 6 Processus de fabrication des boîtes en carton [6]^(*)



(*) Renvoi numéro bibliographique

IV-2-2-2 Boîtes Intérieures

Le carton passe par une série de découpage avant d'entrer dans la machine de production boîtes intérieures.

Le débit de la machine est aussi le même que celles des boîtes extérieures (100 boîtes/mn) et le carton utilisé est de 250 gr/m²

IV-2-2-3 Tiges :

Les fabrications des tiges sont les mêmes que précédemment

IV-2-2-4 Conditionnement

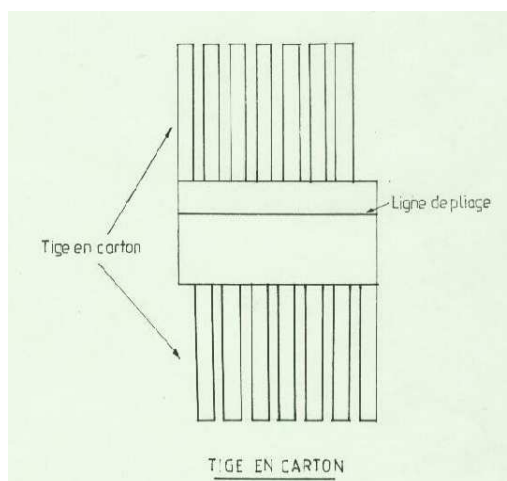
Même principe que celui du paragraphe IV-2-1-5

IV-2-3 Fabrication des allumettes à tiges en carton

Les allumettes à tiges en carton sont très célèbres en Amérique mais généralement elles sont utilisées comme support publicitaire dans des lieux fréquentés par les businessmen ou dans des avions et bateau.

On utilise des cartons très épais (1 à 1,2mm d'épaisseur) découpés par des machines spéciales suivant la figure (7).

Figure 7 Tiges d'allumettes en carton [6]^(*)



(*) Renvoi numéro bibliographique

IV-2-4 Fabrication des allumettes à tiges paraffinées

Pour ce type de fabrication nous entrons plus en détail dans la deuxième partie.

Jusqu' à présent, nous avons vu un aperçu général sur les allumettes, le principe de formulation et les différents types de fabrication.

Pour la suite de notre étude, nous allons étudier de façon plus détaillée, les modes de formulation chimique des composantes de la tête, en particulier les rôles des oxydes , en vue de faire un essai sur un produit local qui est :**la chromite**.

DEUXIEME PARTIE

ETUDES EXPERIMENTALES DE LA CHROMITE

V PRESENTATION DE LA SOCIETE VARATRAFO

V-1 HISTORIQUE

La société VARATRAFO est une société allumettière créée en 1993 dans la région ANTSINANANA dont le siège social se trouve à BETAINOMBY- TOAMASINA.. C'est une société anonyme au capital social de 100 millions Ariary (500 millions de francs malgache) dont la totalité est détenue par des personnes morales et physiques malgaches :

Monsieur RAZAFIMAHALEO Herizo

Monsieur NDRINA Hervé

Monsieur JEAN BAPTISTE Guerra

AFOMA S.A

FIARO

SICOM

V-2 TECHNOLOGIE UTILISEE

La société VARATRAFO utilise une technologie d'origine indienne « Allumettes de sûreté à tiges paraffinées et boîtes en carton ».

C'est une technologie simple et accessible à une main d'œuvre peu ou pas qualifiée.

V-3 ORGANISATION DE LA SOCIETE

La société a une structure hiérarchique et fonctionnelle indépendante bien définie. Elle est dirigée par un Conseil d'Administration (CA) .

La Direction Générale (DG) comprend deux directions :

- la Direction Administrative et Financière (DAF)
- la Direction Technique (DT)

Nous détaillons l'organigramme en annexe n° 3

VI PROCESSUS DE FABRICATION DES ALLUMETTES A TIGES PARAFFINEES

La fabrication des allumettes à tiges paraffinées est un mode de fabrication simple et facile à réaliser tant sur le plan de la productivité que sur le plan de la maintenance machine.

Les sociétés locales de fabrication d'allumettes AFOMA , VARATRAFO utilisent cette méthode depuis 10 ans à Madagascar , dans le but de produire des allumettes selon les normes et le besoin des consommateurs, tout en préservant la forêt malgache. Etant donné que le processus de fabrication des allumettes a été présenté d'une manière générale dans la première partie, nous allons d'ores et déjà étudier plus en détails chaque ligne de production.

Dans la société VARATRAFO où nous avons effectué toutes nos études expérimentales , le processus de fabrication comprend quatre grandes lignes:

- La production des boîtes intérieures
- La production des boîtes extérieures
- La production des tiges
- Le conditionnement

Figure 8 Processus de fabrication des allumettes à tiges paraffinées

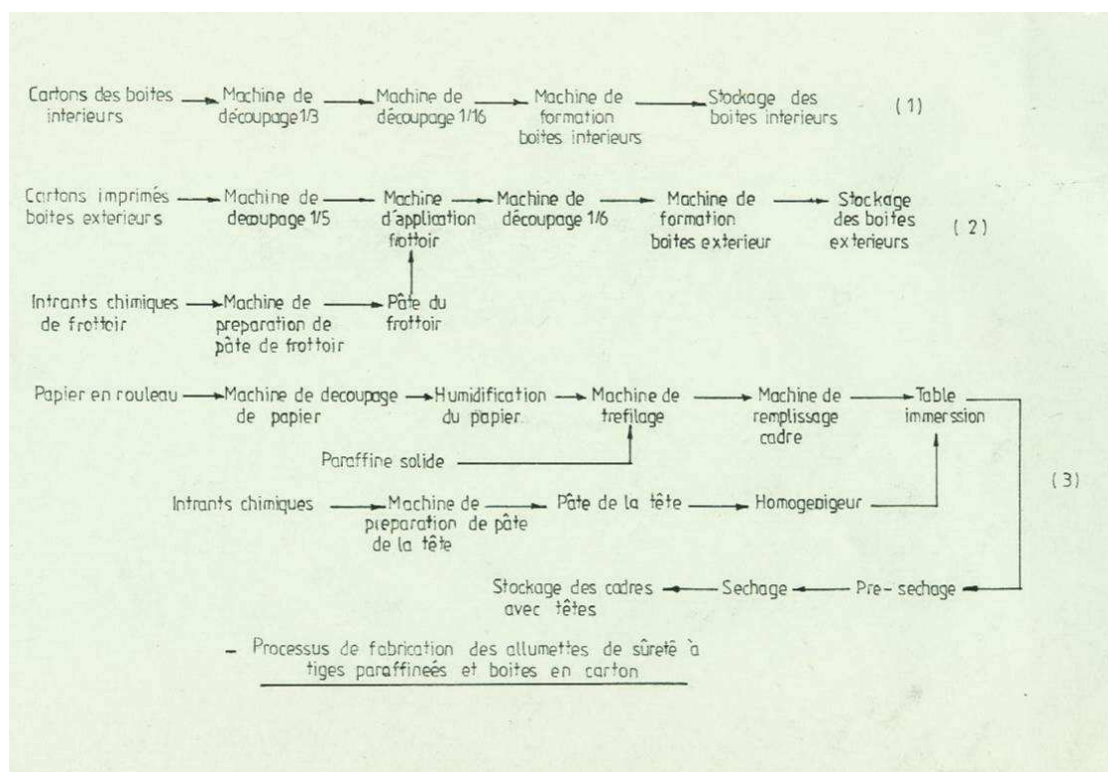
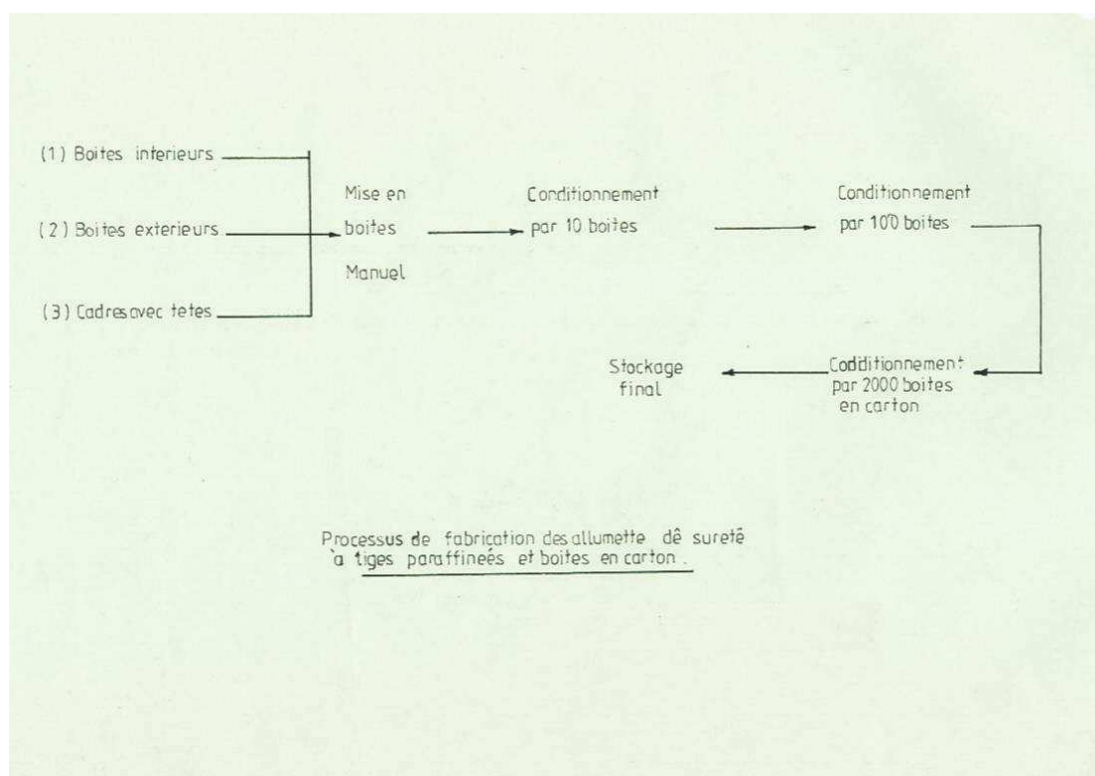


Figure 9 Processus de fabrication des allumettes à tiges paraffinées (suite)



VI – 1 PRODUCTION DES BOÎTES INTERIEURES

La fabrication des boîtes intérieures est initiée par une série de découpage :

- Découpage de carton de format 1060 x 750 mm en 13 strips de format 750 x 80 mm
- Découpage des strips en 16 plaquettes de 48 x 80 mm

Ensuite les plaquettes sont introduites dans la machine de fabrication boîtes intérieures pour produire des boîtes intérieures avec un débit de 92 boîtes par minute.

Les boîtes produites sont stockées dans des sacs polypropylènes dans un endroit sec et frais.

Photo10 Machine de découpage 1/13.



Photo11 Machine de découpage 1/16.



Photo 12 Machine de fabrication de boîtes intérieures



VI – 2 PRODUCTION DES BOÎTES EXTERIEURES

Cette 2^{ème} ligne de production est identique à la première à quelques exceptions près.

VI -2-1 Découpage 1/5

Le carton pré imprimé de dimension 475 x 260 mm et de grammage 325 g par m², est découpé en 5 parties égales pour avoir ce qu' on appelle : planchette, de dimension 260 x 92 mm

Photo13 Machine de découpage 1/5



VI-2-2 Application frottoir

Outre les planchettes de l'étape précédente, le machiniste introduit dans la machine les pâtes chimiques du frottoir, préparées préalablement dans le laboratoire de l'usine.

Les planchettes sont entraînées par un système de rouleaux métalliques et passent sur deux disques qui servent à appliquer les pâtes de frottoir (disques animés d'un mouvement circulaire de rotation, et trempés dans un bac à frottoir)

A la sortie des disques, les pâtes du frottoir des planchettes sont encore humides, et sont ensuite transportées sur une bande, puis séchées par air chaud ventilé à contre courant.

A la sortie du tunnel à air chaud de la machine les planchettes sont sèches et prêtes à l'opération suivante.

Photo 14 Machine d' application frottoir



VI -2-3 Découpage 1/6

La suite de l'opération est pratiquement la même qu'en boîtes intérieures, c'est à dire : découpage des planchettes et formation boîtes

Photo 15 Machine de découpage 1/6



VI -2-4 Formation boîtes extérieures

Les plaquettes avec frottoir sont introduites dans la machine afin d'être formées en boîtes extérieures, avec un débit de 90 boîtes par minute

Les boîtes extérieures produites sont aussi stockées dans des sacs polypropylènes, en un endroit frais et sec.

Photo 16 Machine de formation boîtes extérieures



VI – 3 PRODUCTION DES TIGES

Pour la production des allumettes à tiges paraffinées, la production des tiges est la phase la plus importante, parce que c'est à ce niveau de la production que le processus à tige paraffinée diffère des autres techniques de fabrication.

VI – 3 –1 Découpage des papiers

Le papier utilisé est un papier très spécial de grammage entre 70-75 g par m², dans la catégorie « kraft », de longueur de rupture de l'ordre de 6000.

De plus, les sites interstitiels des mailles du papier sont capables de contenir des composés organiques tels que la paraffine.

Dans un premier temps, le papier est introduit dans la machine sous forme d'un rouleau de 1m de diamètre et 580 mm de laize, il est découpé en petit rouleau suivant une largeur de coupe de 15 mm environ.

Photo 17 Machine de découpage papier



VI- 3 – 2 Humidification

Elle consiste à faire ouvrir les sites interstitiels des mailles des papiers par humidification afin de laisser pénétrer les molécules des corps étrangers (la paraffine). Ainsi les petits rouleaux ainsi découpés sont enveloppés dans un tissu préalablement trempé dans de l'eau froide, pendant 2 heures au minimum.

Photo18 Humidifications des papiers



VI – 3 – 3 Tréfilage

Les papiers humidifiés sont imbibés de paraffine liquide pour former des fils de 1,6 mm de diamètre.

Et ces fils sont les tiges paraffinées.

Photo 19 Machine de tréfilage



VI – 3 – 4 Remplissage cadre

Les tiges paraffinées du tréfilage sont découpées pour avoir une longueur normale de tiges de 35 mm.

Pendant l'opération, chaque tige découpée est rangée régulièrement sur des lattes contenues dans un cadre.

En moyenne dans un cadre : il y a : 6500 tiges.

Photo 20 Machine de remplissage cadre.



VI-3-5 Immersion

A la sortie de la machine de remplissage cadre, les tiges sont encore sans têtes, elles passent alors à la phase suivante qui est l'immersion.

Les pointes des tiges sans tête sont immergées dans la pâte chimique de la tête, de façon à ce qu'elles soient enduites de pâte jusqu'à une longueur de 5mm.

La pâte chimique de la tête est aussi préparée dans le laboratoire de l'usine.

Photo 21 Immersion des tiges.

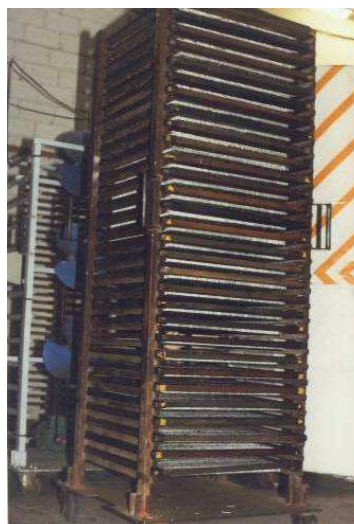


VI – 3 –6 Pré- séchage

Ce stade est un passage obligatoire pour chaque cadre contenant des tiges avec têtes humides.

Le principe est de ventiler les têtes d'allumettes humides par des courants d'air froid pendant 10 mn pour faire diminuer la température de la gélatine, contenue dans les pâtes des têtes d'allumettes, en dessous de son point de solidification.

Photo 22 Pré- séchage



VI – 3 –7 Séchage

Une fois les colles gélatines solidifiées, les tiges avec têtes sont prêtes au séchage proprement dit.

Elles sont soufflées par de l'air chaud à une température de 60°C pendant 1 heure au moins.

Ces conditions sont largement suffisantes pour faire évaporer les quantités d'eau résiduelles dans les têtes d'allumettes.

VI – 4 CONDITIONNEMENT

L'opération de conditionnement consiste à rassembler les produits des 3 lignes de production citées précédemment à savoir: les boîtes intérieures, les boîtes extérieures et les tiges. Elle s'effectue en quatre étapes.

VI– 4 – 1 Mise en boîtes des tiges

Dans la société VARATRAFO, la mise en boîte des tiges d'allumettes se fait manuellement, à raison de 40 tiges par boîte.

Etant donné que les tiges sont toutes alignées verticalement ; pour la mise en boîte, un seul décompte de 40 tiges suffit pour repérer la même quantité de 40 tiges pour les lignes successives.

Photo 23 Mise en boîte



VI – 4 – 2 Emballage par dizaine

Après avoir été soumises à des systèmes de vérification et de « contrôle qualité » strict, les boîtes sont emballées par paquet de 10, avec du papier imprimé de grammage 64g/m^2 et de format $220 \times 130\text{mm}$.

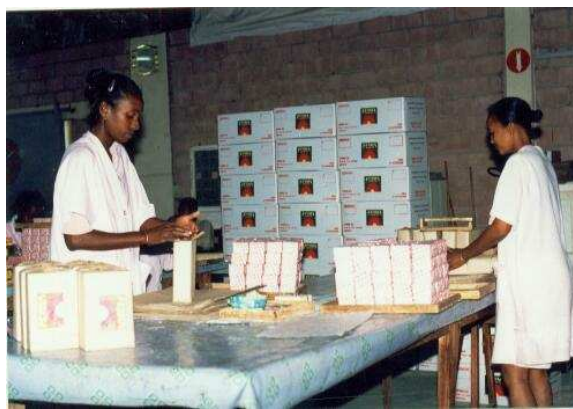
Photo 24 Emballage par dizaine



VI – 4 – 3 Emballage en cartouche

C'est un emballage de 10 dizaines contenant donc 100 boîtes. Le papier utilisé est plus épais que celui des dizaines (grammage $=70\text{g/m}^2$), de dimension $350 \times 425\text{mm}$

Photo 25 Emballage en cartouche.



VI – 4 – 4 Mise en carton

Un carton contient 20 cartouches soit 2.000 boîtes.

C'est l'emballage final, il est en carton double face, cannelé à l'intérieur, de dimension 530 x 310 x 220 mm.

Photo 26 Mise en carton



La mise en carton termine le processus de fabrication des allumettes à tiges paraffinées et boîtes en carton.

VII ETUDE EXPERIMENTALE DE LA CHROMITE POUR LA FABRICATION DES ALLUMETTES

Avec toutes les données précédemment citées, nous allons essayer de voir les possibilités d'utilisation de la chromite pour la production des allumettes de type AFOMA / VARATRAFO.

VII-1 JUSTIFICATION DU CHOIX DE LA CHROMITE

Nous avons pensé à la chromite Malagasy pour utiliser dans la fabrication des allumettes pour les raisons suivantes :

- Le chrome fait l'objet de notre étude antérieure (Mémoire d' Ingéniorat en 1990), et c'est dans la logique de l'approche que nous continuerons de travailler sur les composés de chrome et ses dérivés.
- La chromite est un produit local abondant à Madagascar dont l'exploitation se limite en tant que matières premières brutes destinées à l'exportation (exportation de chromite d'ANDRIAMENA).
- En tant qu'oxyde de métaux trivalents, la chromite, en particulier l'oxyde de chrome Cr_2O_3 , ont des propriétés voisines des oxydes utilisés fréquemment dans la fabrication des allumettes, comme le MnO_2 , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$.

VII-2 LES LIMITES DE NOTRE ETUDE

VII-2-1 La substitution du bichromate de potassium et du dioxyde de manganèse par la chromite pour la fabrication des allumettes de sûreté se limite à une granulométrie de $110\text{ }\mu\text{m}$ de chromite en moyenne.

VII-2- Notre étude a été effectuée dans un laboratoire de production où les matériels utilisés sont limités uniquement à cet effet.

De plus, les sociétés VARATRAFO à Tamatave et AFOMA à Ambositra sont les seules sociétés allumettières à MADAGASCAR, avec des processus de fabrication parfaitement identiques ; donc au lieu d'élargir notre étude sur

d'autres méthodes de préparation, nous nous contentons seulement de notre expérience professionnelle, de notre savoir faire et des données bibliographiques qui sont très difficiles à trouver localement.

VII-3 ETUDES DE QUELQUES OXYDES UTILISES POUR LA FABRICATION DES ALLUMETTES DE SURETE

VII-3-1 Le Bichromate de potassium

Le bichromate de potassium $K_2Cr_2O_7$ est un oxydant très puissant (potentiel d'oxydation du système $Cr_2O_7^{2-} / Cr^{3+} = 1,3 \text{ V}$).

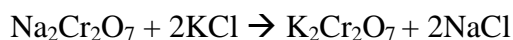
Utilisé en allumette, il a pour rôle de diminuer la température de la décomposition du chlorate de potassium pendant l'allumage, donc accélérer la réaction de combustion [6]^(*)

Le bichromate de potassium est préparé par fusion alcaline dans l'air, du minerai de chrome et de carbonate de soude à 1100 °C.

Lorsque le chromate de sodium Na_2CrO_4 est formé (fumée blanche), on la sépare de la réaction puis on l'additionne de l'acide sulfurique pour obtenir le bichromate de sodium rouge.



Puis par double décomposition, on obtient le bichromate de potassium après séparation des cristaux de Na_2SO_4



Par analogie au sulfate de chrome [10]^(*), le bichromate de potassium peut aussi participer à la réaction complexe avec les collagènes de la protéine de la colle gélatine et rend ce dernier insoluble (Tannage irréversible par utilisation de la sulfate de chrome comme tannin).

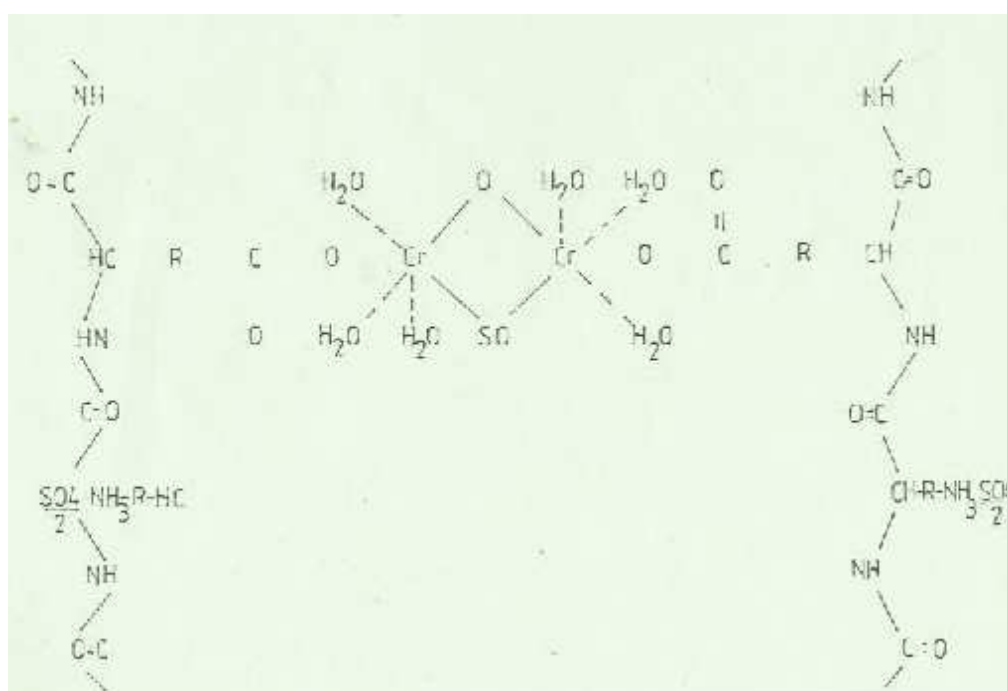
Ceci veut dire que normalement avec l'utilisation du bichromate de potassium, la tête d'allumettes est imperméable à l'humidité.

(*) Renvoi numéro bibliographique

Cependant l'addition du bichromate de potassium dans la composition de la tête d'allumettes doit être faite avec prudence, car son PH est acide et peut former des hydroxydes avec les collagènes de la gélatine, donc peut modifier la viscosité de la pâte de têtes.

De tout ce qui précède, le bichromate est utilisé en allumette dans une proportion ne dépassant pas 1,5% du mélange des produits chimiques de têtes. En outre, il ne devra pas être mélangé directement avec les agents réducteurs tels que l'oxalate ou sulfite qui sont utilisés quelque fois.

Figure 10 Liaison primaire d'un complexe de chrome avec le collagène [10]^(*)



VII-3-1-1 Propriété du bichromate de Potassium : ($K_2Cr_2O_7$)

Point de fusion :..... 398°C

Température de décomposition :.... 500°C

Solubilité :..... 4,9 g / 100 ml à 0°C

et 102 g / 100ml à 100°C

(*) Renvoi numéro bibliographique

VII-3-1-2 Spécification en allumette :

Teneurau moins 90%

Granulométrie :..... 96% passent à travers 30 mesh

75% passent à travers 50 mesh

VII-3-1-3 Manipulation pour la fabrication des allumettes

Sous sa forme de cristaux rouges, le bichromate de potassium peut déclencher un feu en contact des combustibles réducteurs ; il est très corrosif et brûle la peau et les yeux, il n'est pas inflammable.

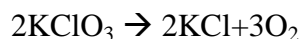
VII-3-1-4 Les principales réactions en allumettes

La réaction principale du bichromate en allumette est celui avec le soufre.



VII-3-2 Le dioxyde de Manganèse : (MnO₂)

Le dioxyde de manganèse est un oxyde tétravalent de structure rutil. En allumette, il est utilisé comme catalyseur dans la réaction principale de décomposition du chlorate de potassium [16] (*).



Comme nous avons vu sur le principe de formulation des produits chimiques, l'oxygène dégagé par la décomposition du chlorate est le principe fondamental de base de l'allumage des allumettes. Cependant, il existe d'autres formes de décomposition du chlorate sans catalyseur selon Glinka, et qui ne dégage pas d'oxygène :



Ce principe de Glinka est la base de notre étude en chromite que nous détaillons au chapitre (VIII-1). Mise à part de son rôle de catalyseur on peut utiliser aussi le dioxyde de manganèse comme colorant de la tête d'allumettes par sa couleur sombre (noire ou marron)

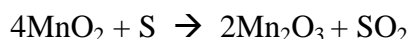
(*) Renvoi numéro bibliographique

VII-3-2-1 Spécification en allumette

Densité :..... 4,9 à 5
 Teneur :..... 85 à 90%
 Granulométrie :..... tous passent à travers : 100 mesh
 60% à travers : 200 mesh

VII-3-2-2 Réactivité en allumette.

La réaction principale en allumette est celui avec le soufre



Le dioxyde de manganèse existe à l'état naturel comme à l'état synthétique mais compte tenu du coût de la préparation, l'industrie allumettière utilise souvent le minéral impur de dioxyde de manganèse.

VII-4 ANALYSE DE LA CHROMITE

Avant de faire l'essai sur ce produit. Il est indispensable de connaître préalablement les éléments qui le constituent.

Notre études antérieures sur ce composé nous ont renseigné sur les modes opératoires d'analyse ainsi que les résultats obtenus [10]^(*).

Le minéral finement broyé a une taille comprise entre 80 μ à 145 μ , il est séché à 100°C jusqu'à masse constante et soumise à l'analyse suivante :

VII-4-1 Dosage de la silice : SiO₂

Peser 0,5 g du minéral,

Mélanger avec 10g de Na₂O₂,

Chauffer jusqu'à ce que le minéral soit complètement attaqué,

Laisser refroidir le creuset et le mettre dans un bécher de 600ml avec 250ml d'eau chaude. Après arrêt de l'effervescence, ajouter encore 1 g Na₂O₂ pour assurer une attaque complète,

Chauffer à l'ébullition pendant 15 mn,

(*) Renvoi numéro bibliographique

Filtrer, rincer abondamment,

Garder le résidu R_1 ,

Ajouter dans le filtrat quelques gouttes d'acide chlorhydrique jusqu'à $PH = 0$,

Filtrer, le nouveau précipité est SiO_2 ,

Garder le filtrat (F),

VII-4-2 Dosage de l' oxyde de chrome (Cr_2O_3)

Prendre (F),

Ajouter 50 ml de NaOH (N) pour obtenir $Ph = 7$,

Filtrer, garder le résidu (R_2) et doser le nouveau filtrat.,

Acidifier le filtrat avec : 50 ml de H_2SO_4 10%,

Verser dans la burette 50 ml de sel de Mohr N/10,

Mettre 5 ml de H_3PO_4 et ajouter 5 à 10 gouttes de diphénylamine sulfonate de sodium 0,5 % comme indicateur,

Filtrer l'excès de Fe (II) par une solution de $K_2Cr_2O_7$ N/10,

En déduire la quantité de Cr (III) réellement réduit par Fe (II) de la solution de sel de Mohr,

VII-4-3 Dosage de Al_2O_3

Prendre R_2 , le calciner et peser la masse de Al_2O_3 correspondant au poids de ce résidu.

VII-4-4 Dosage du MgO et du FeO

Prendre le résidu (R_1),

Dissoudre avec le papier filtre par HCl 50%,

Chauffer, filtrer et laver abondamment. Les ions Mg (II) et Fe (II) sont tous en solution,

Avec le filtrat obtenu, effectuer une double précipitation par NH_4OH en présence de NH_4Cl ,

Opérer à $PH = 7,5$,

Filtrer, laver le précipité par NH_4Cl 1%,

Le filtrat (F) servira pour le dosage de MgO tandis que le résidu (R) pour le FeO.

a) Dosage du MgO :

Ajouter dans le filtrat (F) 30 ml de $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$ 10%,

Précipiter par 50 ml de NH_4OH ,

Laisser reposer 6 heures puis filtrer,

Laver par : NH_4OH dilué,

Calciner, le résidu obtenu est du $\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7$,

$$\frac{2\text{MgO}}{\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7} = 0,3622 \Rightarrow \text{poids MgO} = \frac{\text{Poids Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7 \times 0,3622}{2}$$

b) Dosage de FeO

Calciner le résidu (R),

Peser (le poids du résidu = poids de FeO)

VII-4-5 Résultats des analyses de la chromite

Les résultats des analyses sont :

SiO_2	5, 28%
Cr_2O_3	50, 16%
Al_2O_3	15, 3%
MgO	14, 2%
FeO	15, 26%

VIII ESSAI DE LA CHROMITE

Les caractéristiques physiques de la chromite étudiée sont :

Teneur en Cr_2O_3 50,1%
 Granulométrie..... 145 μm
 Couleur verte foncée non salissant.

Nous avons réalisé tous nos essais au laboratoire de la société VARATRAFO.

En tant que société privée, toutes les informations concernant les compositions chimiques des pâtes restent confidentielles.

Cependant, nous savons d'après les historiques des allumettes et les compositions types mentionnées au tableau [3] de la première partie, que la société VARATRAFO utilise aussi des oxydes pour la préparation des compositions chimiques des pâtes (comme MnO_2 et $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ par exemple), et ce sont sur ce point que nous avons axé nos études.

Nous allons vérifier par la suite les rôles de ces deux oxydes et ses réactivités principales en allumettes.

D'après nos études antérieures (tannage au chrome), nous avons su que la réactivité de l'oxyde de chrome (Cr_2O_3) sur les collagènes de la peau est parfaitement identique à la réaction du bichromate de potassium sur les protéines de la colle animale (colle gélatine) (paragraphe (VII-3-1)).

VIII-1 ROLE DU DIOXYDE DE MANGANESE (MnO_2)

C'est un catalyseur dans la réaction de décomposition du chlorate de potassium suivant la réaction ci-dessous d'après Glinka:



C'est à dire qu'on a un dégagement d'oxygène.

D'après Glinka lui-même, il existe d'autre réaction de décomposition du chlorate de potassium sans catalyseur donnant comme produit de réaction des composés totalement différents qui ne dégagent pas d'oxygène.



Nous pouvons donc interpréter cette hypothèse de Glinka qu'en absence de catalyseur, le chlorate de potassium ne donne pas d'oxygène, ce qui équivaut en allumette : qu'il n'y a pas de flamme.

Etant donné que le chlorate de potassium fait partie de la composition chimique des pâtes, s'il n'y a pas de catalyseur, il n'y a pas d'oxygène libéré nécessaire à l'allumage de la tête par frottement, donc il n'y a pas de flamme.

Le corollaire de cette hypothèse se traduit ainsi qu'il suit :

S'il y a de la flamme, il y a de l'oxygène libéré par le chlorate, il y a en conséquence du catalyseur dans le mélange chimique des pâtes.

VIII-2 ROLE DU BICHROMATE DE POTASSIUM ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)

Comme nous avons vu au paragraphe (VII-3-1), que le bichromate de potassium est utilisé en allumette pour :

- 1- Accélérer la réaction de décomposition du chlorate.
- 2- Rendre les têtes d'allumettes plus résistantes à l'humidité (réactions complexes avec les protéines de la colle animale (gélatine)).

Ceci nous amène à interpréter que sans le bichromate, l'allumage des allumettes est très lent, et la tête est hydrophile.

VIII-3 PROCESSUS DES ESSAIS

Les processus des essais que nous allons suivre pour la préparation des pâtes de têtes avec de la chromite, pour produire des allumettes de sûreté, sont décrits dans le paragraphe ci-après.

VIII-3-1 Manipulation

VIII-3-1-1 Préparation de la pâte

La colle gélatine est préparée en premier.

- Verser dans de l'eau froide contenue dans un récipient spéciale en inox la quantité de gélatine nécessaire à la préparation (gélatine dans l'eau, jamais eau dans la gélatine).
- Barboter le mélange eau / gélatine avec de la spatule en bois jusqu' à l'absorption totale de la quantité d'eau.
- Laisser reposer pendant 1h au moins.

Ce mode de préparation est la méthode dite « lente » il existe une autre méthode dite « rapide » qui consiste à utiliser de l'eau chaude.

- Peser la quantité des intrants chimiques correspondant à la formulation utilisée
- Verser dans le broyeur à boulet tous les produits chimiques sauf le chlorate et le bichromate (s'il y a lieu).
- Faire tourner le broyeur pendant 45 –60 mn.
- Pendant ce temps, chauffer la gélatine ainsi préparée par bain-marie pour une durée de 30 mn en moyenne, et vérifier que la température de la colle est comprise entre 60 –70°C.
- Une fois ces conditions atteintes, arrêter le broyeur.

Il importe de mentionner que le temps de fin du broyage et de la cuisson de la gélatine doivent coïncider pour ne pas perdre beaucoup de temps et surtout pour ne pas compromettre les propriétés collantes de la gélatine (il ne faut pas laisser se reposer trop longtemps la gélatine fondue sinon elle se solidifie et la colle perd sa propriété collante).

- Mélanger très rapidement la colle gélatine fondue avec le chlorate et le bichromate de potassium avec une grande précaution.
- Verser le tout dans le broyeur.
- Faire tourner de nouveau le broyeur pendant 30 mn. Après, la pâte est prête pour l'opération suivante : (immersion)

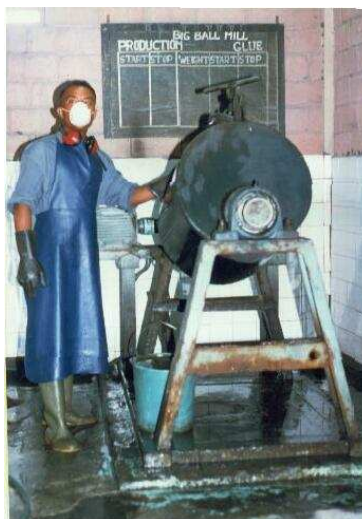
Remarques

Il faut faire très attention pendant l'ouverture du broyeur car il peut contenir des gaz de réaction avec une pression très forte.

Pour ce faire :

- Arroser de l'eau froide le broyeur pour diminuer la température à l'intérieur.
- Desserrer lentement les écrous de serrage du couvercle.
- Faire apparaître une petite ouverture à travers laquelle les gaz s'échappent très lentement (on entend le soufflement de dégagement des gaz).
- Garder cette petite ouverture jusqu' à ce qu'on n'attend plus les bruits d'échappement des gaz.
- Déverser la pâte du broyeur dans un récipient bien propre.
- Vérifier la densité de la pâte, elle doit être comprise entre 1,35-1,36, sinon corriger par addition d'eau tiède.
- Garder la pâte à une température de 35°C

Photo 27 Machine de préparation pâte (broyeur à boulets)



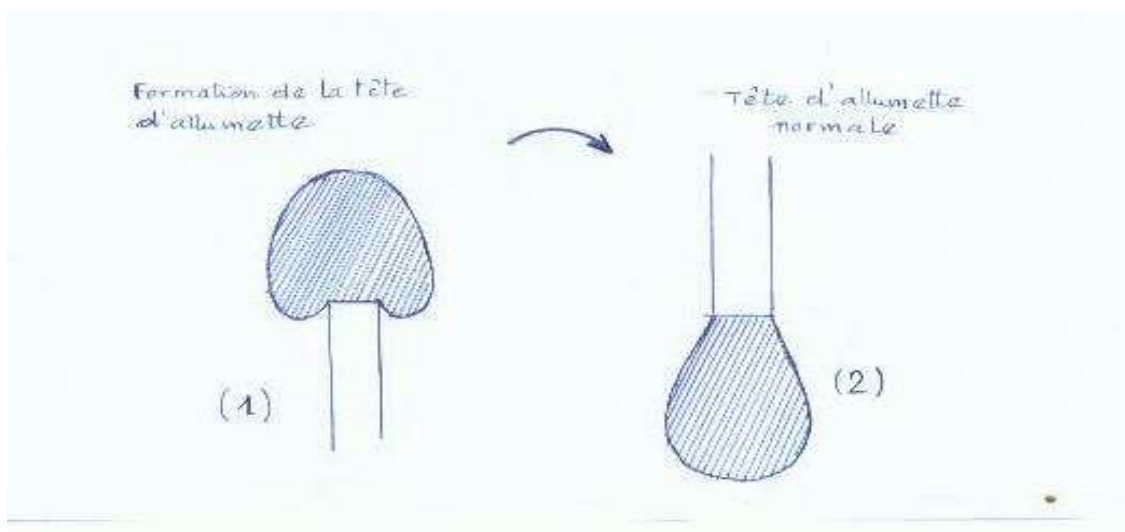
VIII-3-1-2 Immersion

La pâte ainsi préparée est déversée sur une table parfaitement plane, puis laminée par un racloir de façon à ce que l'épaisseur de la pâte soit uniforme sur toute l'étendue de la table (épaisseur entre 3 à 4 mm).

La table d'immersion est chauffée par une vapeur d'eau tiède à la température de 30°C

- Immerger les têtes des tiges, rangées sur des cadres, dans la pâte suivant la figure (Voir photo (21) immersion)
- Faire renverser le cadre dans un premier temps pour faire descendre la pâte (formation de la tête d'allumettes sur les tiges).
- Faire tourner de nouveau le cadre dans sa position normale. Grâce à cette 2^e position, les têtes d'allumettes prennent leurs formes normales (forme d'une poire)

Figure 11 La mise en forme de la tête d'allumette.



Chaque cadre doit être ainsi manipulé avant d'être stocké dans un chariot.

VIII-3-2 Séchage

Pour la suite de la manipulation, nous suivons les processus décrits aux paragraphes (VI-3-6) et (VI-3-7).

VIII-3-3 Test d'allumage

Pour les tests d'allumage nous vérifions : la prise de flamme, le transfert de la flamme de la tête à la tige, la tenue de flamme et tout ceux-ci par rapport à l'allumage normal décrit au paragraphe(IX-1-2)

VIII-4 ESSAIS

Nous avons procédé nos essais en 5 étapes :

VIII-4-1 Essai de référence

Dans un premier temps, nous entamons notre étude par un essai de référence dans laquelle nous n'apporterons aucun changement sur la composition des pâtes.

VIII-4-2 Elimination du dioxyde manganèse

Nous commençons nos essais par l'élimination progressive du MnO_2 dans le mélange, en gardant constante la quantité de bichromate de potassium selon sa masse initiale. (Essai n° : 2 à 4).

VIII-4-3 Substitution du dioxyde de manganèse par la chromite

Dans cette étape nous avons mis en œuvre la chromite en la substituant progressivement au dioxyde de manganèse (Essai n° : 5 à 10).

VIII-4-4 Elimination du bichromate de potassium

Comme celui du dioxyde de manganèse, nous allons vérifier l'effet de l'élimination du bichromate de potassium dans la composition chimique de la tête. (Essai : 11 à 13), en vue de le remplacer ultérieurement.

VIII-4-5 Substitution du bichromate de potassium par la chromite

Pour cette dernière étape, nous avons commencé d'abord par la substitution totale du bichromate de potassium par la chromite (essai n° 14 à 16), ensuite peaufiner les résultats obtenus pour avoir les qualités d'allumage normal : (essai n° 17 à 19), et enfin vérifier les limites d'utilisation de la chromite pour pouvoir valider nos résultats : (essai n° : 20 et 21).

VIII-5 RESULTATS DES ESSAIS

Note : MF = Masse Selon formulation initiale

Nous présentons sous forme de tableau tous les résultats de nos essais

Tableau 10 Résultats des essais

N° essai	MnO ₂ (g)	K ₂ Cr ₂ O ₇ (g)	Chromite (g)	Résultats	
				Couleur de la pâte	Test d'allumage
1	(MF)MnO ₂	(MF)K ₂ Cr ₂ O ₇	0	Noire	Normal
2	$\frac{(MF)MnO_2}{2}$	(MF)K ₂ Cr ₂ O ₇	0	Noire	Flamme faible
3	$\frac{(MF)MnO_2}{4}$	(MF)K ₂ Cr ₂ O ₇	0	Noire	Flamme faible
4	0	(MF)K ₂ Cr ₂ O ₇	0	Verdâtre	Flamme très faible
5	0	(MF)K ₂ Cr ₂ O ₇	500g	Verdâtre	Flamme faible
6	0	(MF)K ₂ Cr ₂ O ₇	600g	Verdâtre	Flamme faible
7	0	(MF)K ₂ Cr ₂ O ₇	800 g	Verdâtre	Amélioration de la flamme mais encore faible
8	0	(MF)K ₂ Cr ₂ O ₇	1000 g	Verdâtre	Flamme nettement améliorée mais avec croûtes incendiaires
9	0	(MF)K ₂ Cr ₂ O ₇	1100 g	Verdâtre	Flamme nettement améliorée mais avec croûtes incendiaires
10	0	(MF)K ₂ Cr ₂ O ₇	1500 g	Verdâtre	Allumage normal mais avec croûtes incendiaires
11	0	$\frac{(MF)K_2Cr_2O_7}{2}$	1500 g	Verdâtre	Allumage très lent flamme faible
12	0	$\frac{(MF)K_2Cr_2O_7}{4}$	1500 g	Verdâtre	Allumage de plus en plus lent et s'éteint après
13	0	0	1500 g	Verdâtre	Allumage de plus en plus lent et s'éteint après
14	0	0	1800 g	Verdâtre	Vitesse d'allumage améliorée

15	0	0	2000 g	Verdâtre	Allumage amélioré et devient vite
16	0	0	2300 g	Verdâtre	Allumage presque normal
17	0	0	2500 g	Verdâtre	Allumage presque normal
18	0	0	2550 g	Verdâtre	Allumage normal
19	0	0	2570 g	Verdâtre	Allumage normal
20	0	0	2600 g	Verdâtre avec changement de viscosité	Allumage normal
21	0	0	2650	Verdâtre avec augmentation de la viscosité	Allumage normal avec projection des croûtes incendiaires

IX- INTERPRETATION DES RESULTATS ET DISCUSSIONS

IX-1 ESSAIS N°1

C'est l'essai de référence avec lequel les compositions chimiques utilisées sont celles de la société VARATRAFO.

Nous obtenons ainsi les résultats suivants :

IX-1-1 Couleur de la pâte

La couleur de la pâte est noire. Elle est due essentiellement à la présence du dioxyde de manganèse MnO_2 dans le mélange.

Comme nous avons mentionné auparavant, la couleur noire ou sombre du dioxyde de manganèse est utilisée comme colorant en allumette.

Photo 28 Pâte au dioxyde de manganèse



IX-1-2 Test d'allumage

Le test d'allumage de l'essai N°1 nous donne un "allumage normal", c'est à dire un allumage qui consiste à :

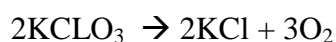
- Une prise de flamme instantanée après la réaction d'incandescence de la tête,
- Une absence de projection des croûtes incendiaires des têtes après frottement,
- Une inexistence d'explosion après frottement ou pendant l'allumage
- Une tenue de flamme après frottement.

Pendant nos essais l'allumage normal se produit aussi aux essais n° 18, 19,20 .

IX-1-2-1 Explication de l'allumage normal

Pour avoir un allumage normal les conditions nécessaires et suffisantes sont les suivantes :

- Le chlorate de potassium se décompose suivant la réaction de GLINKA[16] (*)



Avec MnO_2 comme catalyseur

- Il faut un excès de 15% d'oxygène : balance de la quantité d'oxygène pendant la formulation des compositions chimiques des têtes d'allumettes de sûreté, (théorie de HARTIG) [18] (*)

IX-2 ELIMINATION DU DIOXYDE DE MANGANESE (MnO_2)

IX-2-1 Couleur de la pâte

Dans un premier temps la couleur de la pâte est noire à cause de la présence du dioxyde de manganèse dans le mélange : (essai n° 2 et 3).

En suite elle devient verte au 4^{ème} essai.

Ce changement brusque de couleur indique qu'il n'y a plus du dioxyde de manganèse dans le mélange et la teinte vire alors au vert (couleur caractéristique de l'ion de chrome par la présence du bichromate de potassium).

(*) Renvoi numéro bibliographique

Photo 29 Une pâte au chrome



IX-2-2 Test d'allumage et discussion

Les résultats des tests nous donnent : un allumage faible.

Ces résultats sont caractérisés par une flamme dont la hauteur et la largeur sont très réduites par rapport à l'allumage normal.

De plus, la flamme produite est très vite éteinte.

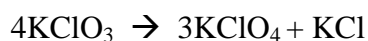
D'après le tableau des résultats :

Nous remarquons qu'à partir du 2^e essai, la quantité du dioxyde de manganèse diminue progressivement dans le mélange jusqu'à son élimination totale du milieu réactionnel (au essai n° 4).

Si nous nous référons à la théorie de formulation des compositions de la tête, la diminution progressive de la quantité de dioxyde de manganèse se traduit par l'élimination partielle et de façon régulière du catalyseur, donc diminution du débit d'oxygène libéré par le chlorate de potassium pendant l'allumage.

C'est pourquoi la flamme est « faible » car la quantité d'oxygène dégagée par le chlorate n'est pas suffisante pour pouvoir brûler les autres comburants tels que le soufre, la gélatine, etc.

Dans cette deuxième étape une partie du chlorate se décompose suivant la deuxième hypothèse de GLINKA :



IX-3 SUBSTITUTION DU DIOXYDE DE MANGANESE PAR LA CHROMITE

IX-3-1 Couleur

Etant donné qu'il n'y a plus du dioxyde de manganèse dans le mélange, la couleur de la pâte reste toujours verdâtre comme précédemment.

IX-3-2 Test d'allumage

Pendant toute cette étape nous avons essayé de substituer le dioxyde de manganèse par la chromite jusqu'à ce que l'état d'allumage soit au voisinage de la normale.

Le passage de l'essai n°4 à n°5 est très significatif.

Tout au long de cette 3^{ème} étape, nous effectuons notre essai très prudemment à chaque changement de composition car sur le plan pratique nous ignorons complètement ce qui va se passer avec la chromite.

L'introduction de la chromite au milieu réactionnel change brusquement les qualités de la flamme en la rendant à la normale au fur et à mesure qu'on augmente sa proportion dans le mélange (1500 g).

Le premier test effectué nous montre la présence d'une flamme nettement améliorée (essai n° 5) ; et c'est à partir de ce résultat que nous avons l'assurance sur la probabilité de réussite de la substitution.

Ainsi d'après Glinka la présence de la flamme indique le dégagement d'oxygène par décomposition du chlorate en présence du catalyseur.

Par ailleurs, nous remarquons que la coexistence (chromite- bichromate de potassium) dans le milieu réactionnel ne pose pas de problème ; chaque produit joue son rôle indépendamment.

Donc pour cette troisième étape nous pouvons en conclure que la substitution du dioxyde de manganèse par la chromite est possible en allumette de sûreté moyennant des formulations appropriées.

(Voir conclusion des essais au chapitre X)

IX-4 ELIMINATION DU BICHROMATE DE POTASSIUM

Primo, nous savons que le bichromate de potassium est un produit dérivé de la chromite, et on peut l'obtenir facilement avec une simple méthode de production [10] ^(*).

Secundo, nous pensons alors que la substitution de l'une par l'autre se fait facilement.

Tertio, les résultats de la 3^{ème} étape nous renseignent qu'il y a un équilibre quantitatif entre la chromite et le bichromate de potassium dans le milieu réactionnel.

Et enfin nous allons alors diminuer la quantité du bichromate en fixant celle de la chromite essai n° (11 à 13)

De tout ce qui précède nous avons enregistré comme résultats :

IX-4-1 Couleur de la pâte:

Verdâtre

IX-4-2 Test d'allumage et discussion : flamme très vite éteinte

Un allumage « très vite éteint » est un allumage où il y a de la flamme mais qui s'étouffe très rapidement.

En quantité insuffisante dans le mélange le bichromate de potassium diminue la vitesse de décomposition du chlorate de potassium ; donc pendant la réaction d'incandescence de l'allumage, la réaction de combustion de la tête s'est terminée alors que la libération d'oxygène par le chlorate de potassium n'est pas totale pour garder la tenue de flamme, la flamme est alors très vite éteinte.

IX-5 SUBSTITUTION DU BICHROMATE DE POTASSIUM PAR LA CHROMITE

D'une part à la fin de la 4^{ème} étape où le bichromate de potassium est éliminé du mélange,

Et d'autre part connaissant les résultats de l'allumage y afférents, nous continuons notre essai en augmentant progressivement et avec beaucoup de précaution la quantité de la chromite : essai n° (14 à 21)

(*) Renvoi numéro bibliographique

Les résultats que nous avons obtenus sont :

IX-5-1 Couleur de la pâte:

La couleur de la pâte est verdâtre

IX-5-2 Test d'allumage et discussion :

L'allumage devient de plus en plus normal au fur et à mesure que la quantité de la chromite augmente: (jusqu'au 20^{ème} essai).

Tout ceci explique que pour parer au manque de catalyseur dans le milieu réactionnel la chromite prend le relais et accélère le dégagement d'oxygène jusqu'à ce que la tenue de flamme soit rétablie.

Donc d'après ce résultat nous avons vérifié que la chromite comme le dioxyde de manganèse jouent le rôle de catalyseur et peuvent alors se substituer.

Aux 20^{ème} et 21^{ème} essai nous observons un changement brusque de la viscosité.

Ceci s'explique comme l'effet d'une quantité d'ions cationiques trop importante dans le mélange :

$$\frac{\text{cation de l'oxyde de métal}}{\text{Cation dans le chlorate}} = \frac{1}{5}$$

(Voir chapitre II-1-3 de la première partie)

Nous gardons alors comme résultat final une quantité de **2570 g de chromite pour avoir un allumage normal.**

X- CONCLUSION DE L'ESSAI DE LA CHROMITE

D'après les différents essais que nous avons effectués, les résultats montrent que l'on peut *substituer à la fois le dioxyde de manganèse et le bichromate de potassium par la chromite ; pour la préparation des pâtes chimiques des têtes d'allumettes de sûreté. Nous avons mis au point une nouvelle formulation et des spécifications particulières pour ces allumettes.*

En effet :

X-1 CARACTERERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DE LA CHROMITE

Pendant nos essais la chromite que nous avons utilisé a comme formule globale (FeCr_2O_4 , MgO , Al_2O_3 , FeO , SiO_2 , nH_2O), et dont les caractéristiques physico-chimiques sont :

Granulométrie.....80-145 μm
Teneur en Cr_2O_3 50,16 %
 SiO_2 5,28 %
 Al_2O_3 15,3 %
 MgO14,2 %
 FeO 15,26 %

X-2 FORMULATION DE LA COMPOSITION CHIMIQUE DES TETES D'ALLUMETTES

Après plusieurs essais et tentatives de formulations, basées d'une part sur notre étude bibliographique sur la chimie des allumettes et d'autre part sur nos expériences pratiques pour la composition des pâtes chimiques des allumettes de sûreté, nous arrivons à une nouvelle formulation pour la composition des pâtes de têtes avec la chromite:

Formule 5 Composition chimique des têtes d' allumettes avec la chromite locale de Madagascar

KClO ₃	34 %
SiO ₂	10.5%
Chromite.....	19.3%
Résine.....	1.1%
Soufre.....	.6.4%
Colle animale.....	6%
Eau 22.6%

Photo 30 Tête d'allumettes fabriquée à partir de la chromite



XI- IMPACTS DE L'UTILISATION DE LA CHROMITE

XI-1 SUBSTITUTION DU DIOXYDE DE MANGANESE (MnO₂) PAR LA CHROMITE

Dans l'industrie allumettière où l'on utilise du dioxyde de manganèse (MnO₂), (appelé aussi manganèse noir), les conditions de travail laissent à désirer à cause de sa couleur noire salissante et pénétrante.

Alors qu'avec la chromite l'opération de nettoyage de la salle de préparation des pâtes ainsi que les matériels et accessoires utilisés se fait par simple lavage et rinçage.

Photo 31 Un seau qui vient de contenir des pâtes avec du dioxyde de manganèse

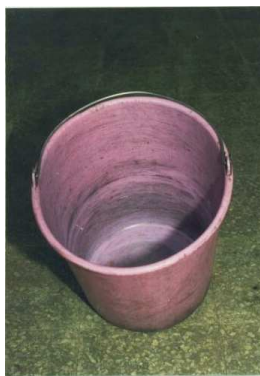
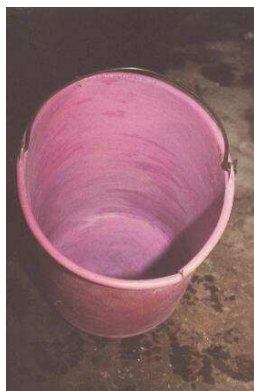


Photo 32 Le même seau qui vient de contenir des pâtes avec de la chromite



XI-2 SUBSTITUTION DU BICHROMATE DE POTASSIUM ($K_2Cr_2O_7$) PAR LA CHROMITE

XI-2-1 Manipulation

La manipulation du bichromate de potassium est dangereuse et exige beaucoup de précautions telles que :

- Vu son potentiel d'oxydoréduction très élevé [$(Cr^{3+} / Cr_2O_7^{--}) = 1,36 \text{ V}$] , il est très sensible en présence d'un réducteur et peut provoquer des feux.
- Le bichromate de potassium est aussi un produit très corrosif et agressif pour la peau, les yeux etc.

- Par contre, la chromite est un produit pratiquement inerte et on travaille sans souci ni risque d'accident avec les autres produits chimiques de la tête d'allumette.

XI-2-2 Stockage des tiges avec têtes

Le bichromate de potassium en présence de l'humidité de l'air se dissout partiellement, et présente des taches jaunes orangées à la surface extérieure des tiges d'allumettes.

Ce phénomène a une conséquence néfaste sur la qualité et l'état d'inflammation des allumettes en occurrence :

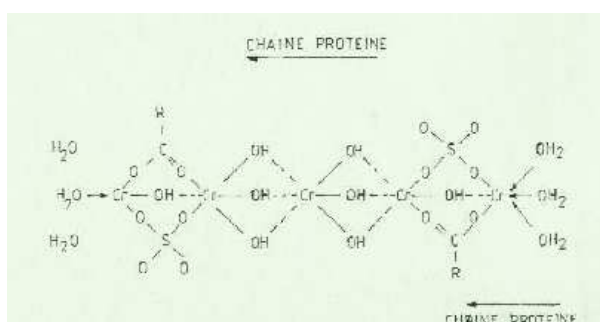
- Un mauvais aspect extérieur par sa coloration en deux tons :
Taches jaunes du bichromate et couleur blanche habituelle des tiges.
- Une prise de flamme retardée et parfois très difficile et peut provoquer une explosion des croûtes incendiaires pendant l'allumage.

Photo 33 Taches jaunes des tiges à têtes noires



La dissolution du bichromate de potassium rompt les liaisons complexes entre les groupements des acides carboxyliques du collagène de la gélatine et le complexe de chrome, en transformant le système en un produit hydrophobe.

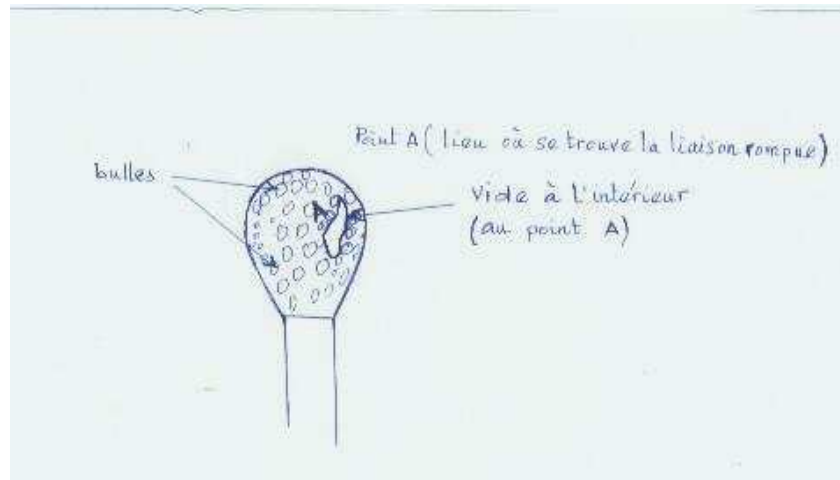
Figure 12 Complexe de chrome transformant en un produit hydrophobe [10]^(*)



(*) Renvoi numéro bibliographique

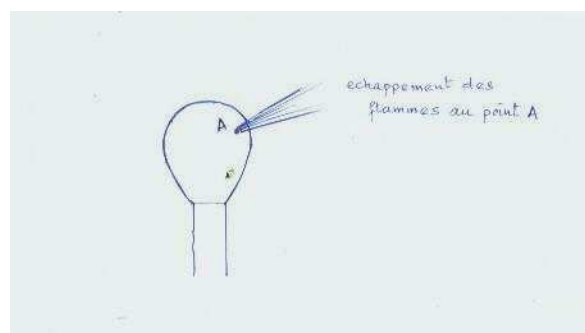
Par ailleurs, la liaison rompue par dissolution du bichromate de potassium déstabilise la densité des bulles (petites canalisations formées par les mousses de la gélatine), à l'intérieure de la tête d'allumettes et, peut créer une partie vide dans le volume occupé par celles-ci.

Figure 13 Une tête d'allumettes avec un espace vide à l'intérieur.



Dans cet état, l'allumage s'effectue de préférence au point **A** avec une vitesse d'échappement de flamme très supérieur et peut entraîner une projection des particules incendiaires.

Figure 14 Allumage d'une tête d'allumette avec un vide à l'intérieur.



Ce pendant avec la chromite on a :

- Une tête d'allumettes dont la composition chimique ne contient pas du bichromate de potassium, donc pas de tâches jaunes, même exposée à une humidité relative très élevée (90%).
- La chromite ne se dissout pas à une température ambiante même à un taux d'hygrométrie très élevé.

XI-3 DECHETS TIGES AVEC TETES

Dans une usine de production, le taux de déchets est l'une des mesures de performance de la démarche qualité. Il est déterminé par l'un des trois facteurs suivant :

- Machine
- Main d'œuvre
- Matières

Dans la société VARATRAFO nous avons mesuré cette performance par le taux de déchets tiges avec têtes

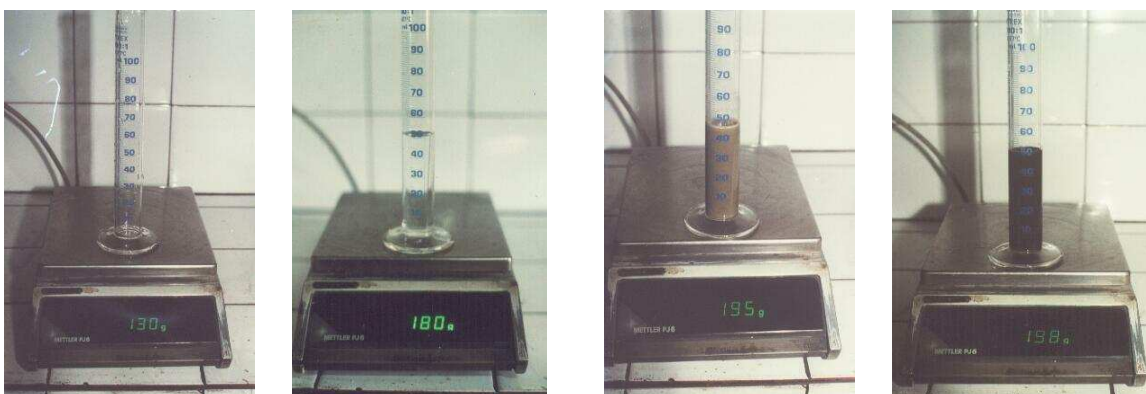
Nous montrons en annexe n° 1 le taux de déchets journalier enregistré par le service de production de Juin à Novembre 2004.

Dans ce tableau, nous remarquons qu'à partir du mois d'Août 2004, le taux de déchets se situe en dessous de 1%.

Parmi les facteurs pratiques qui ont une influence sur le taux de déchets, nous avons observé le rôle important du changement de viscosité des pâtes de têtes. Ainsi après diminution de la densité, le taux de déchets se situe en dessous de 1%.

Or, notre expérience sur la chromite nous a montré que la densité des pâtes de têtes produites est nettement plus faible que celle dans les pratiques précédentes.

Photo 34 Mesure de densité relative des pâtes avec la chromite et avec (manganèse + bichromate).



Nous avons mesuré les densités des pâtes, au chromite et au ($\text{MnO}_2 - \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), expérimentalement comme le rapport des masses des pâtes à celles du même volume d'eau.

Une des mesures que nous avons effectuée est représentée par les photos (34)

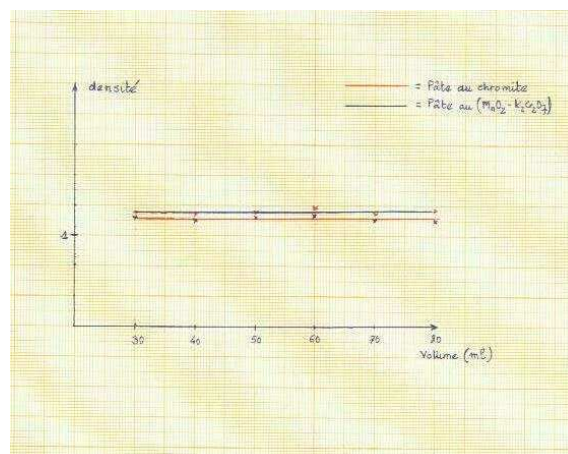
Chaque mesure correspond à une formulation différente

$$d = \frac{\text{Masse des pâtes}}{\text{Masse d'eau}}$$

Tableau 11 Mesure de densité des pâtes

Pâte au chromite				Pâte au ($\text{MnO}_2\text{-K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)			
Volume (ml)	Masse d'eau(g)	Masse des pâtes (g)	densité	Volume (ml)	Masse d'eau(g)	Masse des pâtes (g)	densité
30	30	41	1,29	30	30	40,5	1,35
40	40	53	1,28	40	40	53	1,32
50	50	65	1,30	50	50	68	1,35
60	60	81	1,33	60	60	84	1,4
70	70	98	1,30	70	70	93	1,33
80	80	102	1,27	80	80	110	1,37
MOYENNE			1 ,29				1,35

Figure 15 Courbe de densité des pâtes avec chromite et avec ($\text{MnO}_2 - \text{KCr}_2\text{O}_3$)



De tout ce qui précède nous pouvons en conclure que :

L'utilisation de la chromite nous fait gagner en terme de déchets, car elle permet de garder le taux actuel en dessous de 1% et peut encore descendre plus bas en peaufinant tous les autres facteurs qui peuvent engendrer des défauts dans les processus de fabrication

XI-4 IMPACTS FINANCIERS DE LA SUBSTITUTION DU DIOXYDE DE MANGANESE (MnO_2) ET DU BICHROMATE DE POTASSIUM ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) PAR LA CHROMITE

L'impact financier de la substitution de MnO_2 et $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ par la chromite consiste à évaluer les différents coûts liés à sa mise en œuvre.

Avant d'entrer dans les détails de calculs, nous allons citer dans un premier temps quelques définitions relatives aux coûts, ensuite les étapes d'évaluations que nous avons suivies et enfin les résultats de notre évaluation.

XI-4-1 Définitions

Le coût est un calcul reposant sur une théorie et sur des conventions, mais n'est pas une caractéristique intrinsèque d'un objet ou d'un produit comme pourrait être la température pour l'air ou l'eau.

L'analyse des coûts de la substitution de (MnO_2 et $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) est divisée en deux catégories : le coût direct et le coût indirect.

XI-4-1-1 Les coûts directs

Ce sont les dépenses liées à la mise en œuvre ou les contre valeurs des pertes qui se transforment en gains tels que :

- l'économie de devise pour l'achat des matières premières importées (MnO_2) et $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)
- la diminution des taux de déchets
- la diminution de la quantité d'eau de lavage pendant la manipulation
- la diminution de la quantité des pâtes utilisées

XI-4-1-2 Les coûts indirects

Ce sont les manques à gagner dans le secteur productif qui ne sont pas liées directement à la substitution :

- La diminution des risques d'inflammation pendant la manipulation
- L'assurance « qualité » pendant les périodes de stockage
- La maniabilité du produit de substitution
- La tranquillité pendant la préparation des pâtes.
- L'absentéisme des personnels malades manipulant les produits chimiques

XI-4-2 Les étapes de l'évaluation

Pour évaluer les coûts relatifs à la substitution de la chromite au bichromate de potassium et au dioxyde de manganèse, nous avons d'abord fixé les démarches suivantes :

- Notre point de vue dans cette étude
- La précision utilisée
- L'année de référence
- Les critères d'évaluation
- L'agrégation

XI-4-2-1 Point de vue :

Dans cette étude notre point de vue réside dans le cadre d'une recherche effectuée au sein de l' ÉCOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE D'ANTANANARIVO sur la connaissance et la valorisation des matières premières locales et du travail avec le milieu industriel.

Donc, ce travail se limite seulement sur la possibilité d'utilisation de la chromite en allumettes de sûreté.

XI-4-2-2 Précision

Nous utilisons comme référence les états d'allumages des tiges d'allumettes produites actuellement par la société VARATRAFO ainsi que toutes les paramètres liées à cet effet.

XI-4-2-3 Année de référence

Pour pouvoir valider notre étude nous nous référons à une année de production complète et normale : année 2003.

XI-4-2-4 Critères de l'évaluation

Nous évaluons les coûts de substitution en utilisant les critères suivants :

- + Par comparaison de deux modèles tels que :
Composition chimique des pâtes de têtes avec MnO_2 et $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (modèle 1)
Composition chimique des pâtes de têtes avec la chromite (modèle 2).
- + Les produits chimiques sont tous maintenus dans les mêmes conditions de pression et de température pendant leur stockage ainsi que leur manipulation.

XI-4-2-5 Agrégation

Nous agrégeons notre évaluation sur des bases quantifiables et pertinentes que nous considérons comme incontournables tels que :

- + Le stockage des tiges avec têtes
- + Les déchets tiges avec têtes
- + La disponibilité des matières
- + La consommation des pâtes pour la production des tiges avec têtes
- + La manipulation

XI-4-3 Analyse des coûts directs de la substitution

XI-4-3-1 Avantage économique de la substitution relative au stockage des tiges avec têtes

Nous entendons par stockage des tiges avec têtes le temps de séjours destiné à stocker les tiges avant de procéder à l'opération suivante. Dans notre cas nous avons deux possibilités :

- Dans la salle de séchage
- Dans les boîtes d'allumettes

Les expériences nous ont montré que pendant les saisons de pluie, l'humidité de l'air dissout partiellement le bichromate de potassium contenu dans les têtes d'allumettes et faisant apparaître des taches jaunes orangées à la surface extérieure des tiges, (confer paragraphe XI-2-2).

Toujours par expérience nous avons constaté que ce phénomène provoque non seulement des mauvaises qualités des tiges au niveau de l'inflammation mais aussi et surtout des pertes de valeurs au niveau de déchets tiges avec têtes, car nous considérons que les tiges avec des taches jaunes sont classées comme des rebuts.

Cependant avec la chromite ces problèmes sont complètement résolus car ce composé est chimiquement inerte à la température et pression ordinaire.

Nous allons alors évaluer ces pertes dans le tableau suivant

Tableau 12 Evaluation des coûts et pertes liées aux déchets tiges avec des taches jaunes

Nous cadrans notre étude dans les périodes où les cas des déchets de tiges jaunes sont rencontrés les plus souvent en occurrence : au mois de Février jusqu'au mois d'Août.

	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
Nombre moyenne de cadres contenant des tiges jaunes par jour	20	21	20	20	15	10	10
Nombre moyenne de boîtes dans un cadre	164	164	164	164	164	164	164
Nombre moyenne de jours travaillés	22	22	22	22	22	22	22
GAP en boîtes	72160	75768	72160	72160	54120	36080	36080
CA unitaire HT (Fmg)	164,7	164,7	164,7	164,7	164,7	164,7	164,7
GAP en CA en terme monétaire en million	11,88	12,48	11,88	11,88	8,91	5,94	5,94
TOTAL en million							68,91

La contre valeur des pertes de production des tiges jaunes pendant les saisons de pluie est de: **68.910.000 Francs Malagasy.**

On peut dire sans ambages que les coûts dus aux déchets de tiges jaunes, en terme de GAP (Gain à Produire) sont énormes pour la société.

XI-4-3-2 Avantages économiques de la substitution relative au taux de déchets

D'après le tableau [13], l'utilisation de la pâte des têtes au chromite nous donne un taux de déchet autour de 0,65%.

Nous allons par la suite calculer le gain à cet effet.

Tableau 13 Comparaison des déchets tiges avec têtes des pâtes au chrome et au
(dioxyde de manganèse – bichromate de potassium)

Rubriques	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Déchet (kg)	157,1	273	319,3	319,5	206	177,7	85,4	114,3	127,1	140,3	67,7	83,5
% déchet 2003	1,62	1,72	1,84	2,01	1 ,89	1 ,56	0,61	0 ,74	0,77	0,83	0,86	0,81
% déchet avec chromite	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
% GAP en déchet	1,02	1,12	1,24	1,41	1,29	0,96	0,01	0,14	0,17	0,23	0,86	0,21
Eq en boîtes	3091 1	5555 2	6722 3	7004 0	4393 8	3417 3	437	6758	8769	1214 9	2115 6	6765
CA unitaire HT d'une boîte (Fmg)	164,7	164,7	164,7	164,7	164,7	164,7	164,7	164,7	164,7	164,7	164,7	164,7
GAP en CA en terme monétaire en million	5,09	9,15	11,07	11,53	7,24	5,63	0,07	1,11	1,44	2	3,5	1,1
Total en million	58,93											

Nous avons enregistré dans ce tableau un gain en contre valeur de déchets tiges et dont le chiffre d'affaires (CA) correspondant est beaucoup pour la société.

En effet nous gagnons : **58.930.000 Francs Malagasy** en utilisant les pâtes avec de la chromite.

XI-4-3-3 Avantages économiques de la substitution relative à l'économie de devises

XI-4-3-3-1 Devises

Pour la société VARATRAFO la substitution du dioxyde de manganèse et du bichromate de potassium par la chromite locale d'ANDRIAMENA facilite l'approvisionnement des intrants étant donné que ces deux derniers font partie des matières premières importées, leur substitution par une matière locale économise des devises du pays.

Tableau 14 Coûts des matières premières importées (MnO₂ et K₂Cr₂O₇)

Matières premières	Quantité (kg)	Prix unitaire (fmg)	Valeur (fmg)
Manganèse	4 595,9	5 659,83	26 012 015
Bichromate	274,6	21 493,49	5 902 113
TOTAL			31 914 128

D'après ce tableau extrait du rapport d'activité annuelle 2003 de la société VARATRAFO, nous enregistrons un gain de **31.914.128 Fracs Malagasy** sur l'importation des matières premières, en n'utilisant plus le dioxyde de manganèse et le bichromate de potassium.

Ce gain permet d'économiser des devises pour la société dont 80% de ses matières premières sont importées.

XI-4-3-3-2 Valeurs ajoutées

La valeur ajoutée peut être définie comme étant la valeur nouvellement créée à l'issue d'un processus de production.

Elle représente la différence entre l'*output* ou la production totale et l'*input* appelé encore consommations intermédiaires.

D'après cette définition l'utilisation des matières premières locales crée une nouvelle valeur ajoutée pour les industries d'exploitation minière et permettent à ces dernières d'élargir ses domaines d'activité ou de renforcer les branches productives de l'économie nationale.

De tout ce qui précède, l'utilisation de la chromite à un effet positif sur le plan économique de développement si nous ne tiendrons compte que la création d'une nouvelle valeur ajoutée

En parlant de la valeur ajoutée nous pouvons avoir plusieurs indicateurs de production à caractère intérieur ou territorial par exemple le **Produit Intérieur Brut (PIB)** dont la valeur permet de mesurer le poids économique d'un pays.

$$\text{PIB} = \text{Valeur ajoutées totale} + \text{Taxes liées aux produits} - \text{Subventions}$$

XI-4-3-4 Avantage économique de la substitution relative à la consommation des pâtes de têtes

Le tableau suivant montre le coût de la fabrication des pâtes de têtes pour les compositions avec (MnO_2 , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) et celle avec la chromite.

Tableau 15 Coûts de fabrication des pâtes avec (MnO_2 , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) et la chromite

Composition chimique avec (MnO_2 , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)			Composition chimique avec chromite		
Matière	Quantité (kg)	Valeur (fmg)	Matière	Quantité (kg)	Valeur (fmg)
MnO_2	2,1	8 001	chromite	2,570	2 570
$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	0,15	3 221,7			
Autres	12	68 986,27	Autres	10,65	58 665,26
TOTAL	14,25	80 208,97		13,22	61 235,25
Prix unitaire	5 589,47 fmg		4 632,01 fmg		

Différence de coûts : $5\,589,47 - 4\,632,01 = 957,46$ fmg par kg

Quantité de pâtes têtes nécessaires pendant l'année 2003

0,1 kg par cadre, soit 164 boîtes d'allumettes

Alors pour produire les 33 196 702 boîtes de l'année 2003 nous avons besoin

$(0,1 \times 33\,196\,702) / 164 = 20\,241,89$ kg de pâtes

Donc le gain annuel est de : $20\,241,89 \times 957,46 = 19\,380\,800$ fmg

Pour la production des pâtes têtes avec la chromite les calculs des coûts directs liés à la consommation nous font gagner la somme de **19 380 800 Francs Malagasy**.

XI-4-3-5 Total des coûts directs

Les calculs des coûts directs relatifs à la substitution du dioxyde de manganèse et du bichromate de potassium par la chromite nous font gagner au total une somme de :

+ Stockage des tiges.....	68 910 000 fmg
+ Taux de déchets.....	58 930 000 fmg
+ Devises.....	31 914 128 fmg
+ Consommation des pâtes têtes.....	19 380 800 fmg

Total.....179 134 928 fmg

Actualisation (taux = 12%).....**200 631 119 fmg**

XI-4-4 Evaluation des coûts indirects

XI-4-4-1 Coûts indirects

L'évaluation des coûts indirects est très difficile à réaliser du fait qu'ils ne sont pas liés directement aux objets à évaluer, mais qui doivent engager tout de même la société.

Dans notre étude nous avons cité quatre variétés :

- la diminution des risques d'incendie pendant la manipulation,
- l'assurance qualité pendant les périodes de stockage,
- la maniabilité du produit de substitution,
- la tranquillité pendant la préparation des pâtes.

Parmi ces quatre suggestions, nous avons traité le cas de « la maniabilité du produit de substitution », à cause des caractères non quantifiables des trois autres.

Nous choisissons cette rubrique parce que les problèmes de santé liés à la manipulation des produits chimiques sont très délicats pour la société et peuvent engager cette dernière en cas de problème.

Dans ce cas plusieurs problèmes peuvent être supportés par la société tels que :

- L'absence de longue durée,
- Le remplacement du laborantin (manipulateur des produits chimiques),
- Le traitement à longue durée.

De même pour l'employé nous pouvons citer comme problème

L'infirmité permanente (en cas de lésions cutanées graves)

Dans notre cas nous nous intéressons aux problèmes liés à l'absence du manipulateur ainsi qu'en son éventuel remplacement, du fait que les autres cas ne se sont pas présentés dans la société et nous n'avons pas des données chiffrées ; donc nous les évoquons à titre d'information.

Une étude très récente effectuée au sein de la société VARATRAFO nous a démontré que les coûts de l'absentéisme liés aux problèmes de la santé correspondent à des chiffres de l'ordre de 600.000.000 de Francs Malagasy par an [15] ^(*).

Conformément à cette étude nous avons essayé de calculer les coûts de l'absentéisme des personnels qui sont en contact direct avec des produits chimiques ainsi que leurs remplacement.

Tableau 16 Les coûts des absentéismes des personnels en contact direct avec des produits chimiques, et leurs remplacements [15] ^(*)

Désignations	Cadres et Directeurs	Machinistes et Laborantins	Total
Salaire moyen mensuel	2 750 000	315 000	
Salaire moyen journalier	125 000	14 541	
Jours minima d'absence en cas de traitement	90	90	
Coûts par catégorie/Permanent	11 250 000	1 570.428	12. 820.428
Taux horaire moyen du remplaçant		1.990,5	
Coûts par catégorie/Remplaçant		1 433 160	1 433 160
TOTAL(fmg)			14 253 588

Pour la compréhension de ce tableau les remarques suivantes s'avèrent nécessaires :

(*) Renvoi numéro bibliographique

- + Le nombre de jours minima de traitement des malades en contact direct avec les produits chimiques est de 90 jours.
- + Le remplacement des cadres et directeurs qui sont malades ne se fait pas.

D'après ce tableau nous voyons qu'en cas d'absence des personnels malades les coûts relatifs à ces effets sont non négligeables pour la société : **14 253 588 fmg** non compris les frais de traitement qui risqueraient fort d'augmenter le montant.

XI-4-5 Tableau 17 Récapitulation des impacts financiers relatifs à la substitution du dioxyde de manganèse et du bichromate de potassium par la chromite

Désignations	Montant
Avantage économique de la substitution due au stockage des tiges avec têtes	68 910 000
Avantage économique de la substitution due aux déchets tiges avec têtes	58 930 000
Avantage économique de la substitution relative à l'économie de devise	31 914 128
Coûts des absentéismes des personnels en contact direct avec les produits chimiques, relatif à leur remplacement	14.253.588
TOTAL (2003)	193.387.716
Taux d'actualisation	12%
Montant actualisé (2004)	216.594.241 Fmg

Les impacts financiers de la substitution par la chromite du dioxyde de manganèse et du bichromate de potassium sont très importants pour la société surtout dans le contexte actuel où la manipulation des devises s'avère très difficile ; d'après les calculs ci-dessus elle fait gagner pour la société **216 594 241 Fmg.**

D'après les données statistiques que nous avons reçus auprès de la service de la comptabilité de la société VARATRAFO ce gain représente **10% des achats de matières premières pendant l'année 2003.**

XII- CONCLUSION GENERALE

Dans ce travail nous avons étudié et démontré la possibilité de remplacer totalement le dioxyde de manganèse MnO_2 et le bichromate de potassium $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ par la chromite naturelle de Madagascar dans la production des allumettes de sûreté.

Après une étude bibliographique sur la théorie d'allumage des allumettes, nous avons, dans le cadre de nos activités de responsable technique dans la société allumettière de VARATRAFO, effectué des études expérimentales détaillées sur la substitution partielle puis totale de la chromite au dioxyde de manganèse et du bichromate de potassium.

La chromite utilisée est la chromite d'ANDRIAMENA sous sa forme marchande avec les caractéristiques d'analyses suivantes :

Granulométrie.....	.80-145 μm
Teneur en Cr_2O_3.....	50,16 %
SiO_2.....	5,28 %
Al_2O_3.....	15,3 %
MgO.....	14,2 %
FeO.....	15,26 %

Nous avons établi une formulation, pour la composition des pâtes de têtes, qui donne des allumettes de très bonnes caractéristiques d'allumage et dont les performances techniques sont les mêmes ou meilleures.

A titre indicatif la composition suivante correspond à une telle formulation :

KClO_3.....	34 %
SiO_2.....	10.5%
Chromite.....	19.3%
Résine.....	1.1%
Soufre.....	..6.4%
Colle animale.....	6%
Eau22.6%

L'utilisation de la chromite présente de nombreux avantages vis-à-vis de l'ancienne formulation :

- Contrairement au bichromate de potassium la chromite pratiquement inerte à l'ambiance donne des têtes d'allumettes peu sensibles à l'humidité et exemptes du défaut de taches jaunes quand elles sont entreposées en milieu humide et même lorsque l'humidité ambiante atteint 90%.
- De plus la poudre de chromite ne présente pas le caractère noir salissant du dioxyde de manganèse, d'où la facilité d'utilisation et de nettoyage.
- Nous avons également montré que le taux de déchets tiges avec têtes peut être abaissé de 1% à 0,6%, et ceci étant lié à la diminution de la densité de la pâte qui passe de 1,35 pour la composition initiale classique à 1,30 pour la composition contenant de la chromite.
- Et enfin, nous avons, à partir des données statistiques disponibles auprès de la société VARATRAFO, effectué une évaluation financière sommaire de la substitution au niveau des coûts directs et des coûts indirects. A partir de ces calculs les gains pour l'année 2003 auraient pu atteindre **216.594.241 FMG, ce qui représentent 10% en valeurs des achats des matières premières.**

GLOSSAIRES

Allumettes chimiques

Sont considérées comme allumettes chimiques. Tous les objets quelconques amorcés ou préparés de manières à pouvoir s'enflammer ou produire du feu par frottement ou par tout autre moyen qu'un contact direct avec une matière en intuition.

Une allumette chimique est généralement constituée d'une tige, destinée à la préhension, supportant un bouton (ou tête), de composition pyrotechnique destinée à la friction.

Allumettes chimiques de sûreté : (ou de sécurité)

Toute allumette chimique qui ne peut s'enflammer que par friction sur une surface spécifiquement préparée dont les composants réagissent chimiquement avec les éléments constitutifs de la tête.

Allumettes chimiques de (non sûreté ou phosphorée)

Ce sont des allumettes qui sont destinées à s'enflammer sur tout surfaces rugueuses même inertes et qui n' imposent pas l' emploi d'un frottoir chimiquement actif.

Autoallumage :

Allumage spontané et accidentel de la tête d'allumettes sans source d'énergie extérieure.

Boîte d'allumettes de sûreté

C'est un système unitaire complet d'allumage comprenant un nombre variable de tiges présentées dans un contenant comportant obligatoirement au moins une surface de friction chimiquement réactive à la friction de la tête.

Croûtes incendiaires :

Particules incandescentes des têtes d'allumettes qui se détachent pendant le frottement ou l'allumage de la tête

Force de gel :

C'est une force élastique contenue dans la gélatine avec laquelle on peut déterminer la qualité de sa colle

.

Friction d'allumette

C'est une opération consistant simultanément à mettre et maintenir en appui, sous une force généralement croissante, la tête de l' allumette contre le frottoir, et à déplacer la tige par un mouvement généralement accéléré jusqu' à l' amorçage visible ou audible de l' inflammation de la tête.

Frottoir par allumette de sûreté

C'est une surface de friction pour allumette de sûreté généralement constituée par enduction ou impression totale ou partielle de l'une des faces externes de la boîte au moyen d'une composition chimiquement réactive avec celle de la tête de l' allumette.

Incandescence

Etat d'un corps qu'une température élevée rend lumineux

Laise : hauteur de papier enroulé sous forme de cylindre

Strips : lamelle de carton

Tête d'allumette de sûreté :

C'est un agglomérat de composition pyrotechnique totalement exempt de phosphore libre ou dérivé oxydable du phosphore préparé spécifiquement, fixé à l' une des extrémités de la tige d' allumette et destiné à s'enflammer par friction sur un frottoir chimiquement actif.

BIBLIOGRAPHIE

Documents externes

- 1 Alain Froges .,- Compagnie de Produits chimiques et Électrométallurgiques,
Carmargues, Brevet Français. 969,032 (12.12.50) (CA 46 6388).
- 2 Arditti, R., Gaudry, H. Laure, Y., (1948), Compt. Rend. Acad. Sci. 226, 1179- 1180. (CA 33 4787).
- 3 Berzelius, J.J., Pogg. Ann. 12, 533.
- 4 Bone, W.A., (1927), Chemist & Druggist, 106, 436.
- 5 Bureau des normes Malagasy
- 6 C.A.FINCH, S. RAMACHANDRAN., - Matchmaking : Science, Technology and Manufacture. –London.-Ellis Horwood Limited.-1983
- 7 Clayton, (1911), Proc. Chem. Soc. (London), 27, 228.
- 8 Crass, M.F., (1941) , J.Chem.Education, 116-120, 277-282, 316-319, 380-384, 428-431.
- 9 Crass, M.F., (1941), Chem. Industries, 48, 424-433, 575-579.
- 10 Daniel . A . RAKOTO ., - Etude du tannage par le sulfate de chrome produit localement, Mémoire d'Ingénieur : ESPA : Avril 1991.
- 11 Ellern, H., (1968), Military civilian pyrotechnics, New York, Chemical Publishing Co., pp. 64-83.
- 12 Fellitzen, E ; Thulin, W.E., (1948), 'Tändstikar ' , in Handboki kemisk. Teknologi, Natur och Kultur, 3, 171-193, Stockholm.
- 13 Freeman, E.S, Rudloff, W., (1967), US Clearing House, Fed.Sci.Tech.Inform., AD 814879 (138 pp.).
- 14 Gaidis, J.M. Rochow, E.G., (1963), J .chem. Educ., 40, 78-81.
- 15 Gervais RAKOTOVAO ., - Analyse des absentéismes liés aux problèmes de la santé dans une entreprise cas de la société VARATRAFO, Mémoire de DEA : Université de Toamasina : Novembre 2004.

- 16** GLINKA. Edition MIR – Moscou p.
- 17** H. Sevene and E.D.Cahen, US Pat. 614,350 (1898).
- 18** Hartig,H., Zundwaren, pp. 41-45. 1971 : Leipzig, VEB Fachbuchverlag.
- 18** Idem., ibid., 1949,68,349-355.
- 19** Idem., ibid., (1967),71,1520-1521.
- 20** Johson,D.M., (1965), Ignition theory: application to the design of new ignition systems.RDTR No. 56. US Naval Ammunition Depot Ind. (from Ref.[2.1] p. 177).
- 21** Kaslin,R., (1947), Chim. E Industrie,57, 444-447 (CA 41 6407).
- 22** Markowitz, M.M., Boryta,D.A.Stewart,H.,(1968),J.phys. Chim., 68, 2282-2289.
- 23** Mc Lain,J.H., (1980), Pyrotechnics from the viewpoint of solid-state chemistry, Franklin Institute Press.
- 24** Miravet,M, Rocchiccioli,C., (1961),Mik chim. Acta,484-486.
- 25** Norme française sur les allumettes de sûreté Bureau des normes Malagasy
- 26** Norme Mauricienne sur les allumettes de sûreté
- 27** Persson,G., (1969), Foeredrag Pyroteknikdangen, 39-54 (CA,73,57621).
- 28** Schlegel,J., (1965),J.phys.chem., 69,3638-3640.
- 29** see Mellor,J.W., Comprehensive treatise on inorganic and theoretical Chemistry, vol. 2, pp. 296-298; 1922: London, Longmans Green.
- 30** Shidlovsky, A.A., (1964), Fundamentals of pyrotechnics, Mouscow (translated by US Joint Publication Research Service, Piccatinny arsenal,Dover,New Jersey,as AD 462 424).
- 31** Siegel, R., (1940), J. chem.Educ., 17, 515 (CA 35, 1229).
- 32** Spice J.E, Staveley,L.A.K., (1949), J.Soc. Chem.Ind., 68,313-319.
- 33** Zurn, W., (1913) Die deutsche Zündholzindustrie, Tübingen.

Documents internes

- 34** Rapports d'activités, Varatrafo, exercice 2003.
- 35** Budget Varatrafo, exercice 2003.

ANNEXES N° 1

SUIVI DES DECHETS TIGES AVEC TETES

Les tableaux ci-dessous enregistrent au jour le jour le poids et le pourcentage des déchets tiges de Juin à Décembre 2004.

Il montre qu'à partir du mois d'Août la moyenne mensuelle des déchets tombent au dessous de 1% , ceci étant lié aux contrôles plus rigoureux de la densité de la pâte des têtes d'allumettes.

MOIS DE JUIN

DATE		POIDS (kg)	POURCENTAGE (%)
Mardi	1-juin-04	4,9	0,8
Mercredi	2-juin-04	5,1	0,9
Jeudi	3-juin-04	6,9	1,16
Vendredi	4-juin-04	6,6	1,10
Samedi	5-juin-04		
Dimanche	6-juin-04		
Lundi	7-juin-04	6,1	1
Mardi	8-juin-04	5,9	0,95
Mercredi	9-juin-04	5,6	0,95
Jeudi	10-juin-04	7,2	1,09
Vendredi	11-juin-04	6,4	1,02
Samedi	12-juin-04	4,2	1,04
Dimanche	13-juin-04		
Lundi	14-juin-04	5,4	0,87
Mardi	15-juin-04	5,9	0,89
Mercredi	16-juin-04	5,9	0,8
Jeudi	17-juin-04	7	1,3
Vendredi	18-juin-04	7,6	1,17
Samedi	19-juin-04	5,1	1,29
Dimanche	20-juin-04		
Lundi	21-juin-04	8,3	1,63
Mardi	22-juin-04	5,8	1,04
Mercredi	23-juin-04	6	1,14
Jeudi	24-juin-04	6,4	1,25
Vendredi	25-juin-04		
Samedi	26-juin-04		
Dimanche	27-juin-04		
Lundi	28-juin-04		
Mardi	29-juin-04		
Mercredi	30-juin-04		

Taux de déchets moyenne = 1,06 %

MOIS DE JUILLET

DATE		POIDS (kg)	POURCENTAGE (%)
Jeudi	1-Juil-04		
Vendredi	2-Juil-04		
Samedi	3-Juil-04		
Dimanche	4-Juil-04		
Lundi	5-Juil-04		
Mardi	6-Juil-04	6,9	1,29
Mercredi	7-Juil-04	9,8	1,75
Jeudi	8-Juil-04	9,2	1,44
Vendredi	9-Juil-04	9	1,5
Samedi	10-Juil-04		
Dimanche	11-Juil-04		
Lundi	12-Juil-04	9,4	1,5
Mardi	13-Juil-04	7,5	1,4
Mercredi	14-Juil-04	7,5	1,3
Jeudi	15-Juil-04	7,2	1,2
Vendredi	16-Juil-04	9,3	1,7
Samedi	17-Juil-04	3,9	1,15
Dimanche	18-Juil-04		
Lundi	19-Juil-04	3,7	1,2
Mardi	20-Juil-04	6,7	1,11
Mercredi	21-Juil-04	6	1
Jeudi	22-Juil-04	8,8	1,44
Vendredi	23-Juil-04	5,6	1,03
Samedi	24-Juil-04	4,1	1,03
Dimanche	25-Juil-04		
Lundi	26-Juil-04	6,4	1,01
Mardi	27-Juil-04	8,3	1,2
Mercredi	28-Juil-04	7,7	1,27
Jeudi	29-Juil-04	7,6	1,26
Vendredi	30-Juil-04	6,5	1,08
Samedi	31-Juil-04		

Taux de déchets moyenne = 1,27 %

MOIS D'AOUT

DATE		POIDS (kg)	POURCENTAGE (%)
Dimanche	1-Août-04		
Lundi	2-Août-04	6,8	1,3
Mardi	3-Août-04	8,1	1,2
Mercredi	4-Août-04	7,1	1,2
Jeudi	5-Août-04	5,9	1,04
Vendredi	6-Août-04	6	1,04
Samedi	7-Août-04	4,8	1,3
Dimanche	8-Août-04		
Lundi	9-Août-04	8,1	1,42
Mardi	10-Août-04	5,4	0,9
Mercredi	11-Août-04	5,4	0,9
Jeudi	12-Août-04	7,6	1,2
Vendredi	13-Août-04	5,2	0,8
Samedi	14-Août-04	3,4	0,8
Dimanche	15-Août-04		
Lundi	16-Août-04	5	0,9
Mardi	17-Août-04	5,2	0,8
Mercredi	18-Août-04	5,5	0,9
Jeudi	19-Août-04	5,7	0,9
Vendredi	20-Août-04	5,8	0,9
Samedi	21-Août-04	3,4	0,9
Dimanche	22-Août-04		
Lundi	23-Août-04	5,8	1,06
Mardi	24-Août-04	6,1	1,01
Mercredi	25-Août-04	5,9	0,9
Jeudi	26-Août-04	5,1	0,7
Vendredi	27-Août-04	4,7	0,6
Samedi	28-Août-04		
Dimanche	29-Août-04		
Lundi	30-Août-04	4	0,6
Mardi	31-Août-04	4,5	0,7
Dimanche			

Taux de déchets moyenne = 0,9 %

MOIS DE SEPTEMBRE

DATE		POIDS	POURCENTAGE (%)
Mercredi	1-Sept-04	4,3	0,7
Jeudi	2-Sept-04	4,6	0,7
Vendredi	3-Sept-04	4,4	0,7
Samedi	4-Sept-04		
Dimanche	5-Sept-04		
Lundi	6-Sept-04	3,3	0,6
Mardi	7-Sept-04	4,2	0,7
Mercredi	8-Sept-04	4,9	0,8
Jeudi	9-Sept-04	5,8	0,9
Vendredi	10-Sept-04	4,9	0,8
Samedi	11-Sept-04		
Dimanche	12-Sept-04		
Lundi	13-Sept-04	4,2	0,8
Mardi	14-Sept-04	4,4	0,7
Mercredi	15-Sept-04	4,5	0,7
Jeudi	16-Sept-04	5,6	0,9
Vendredi	17-Sept-04	5,2	0,8
Samedi	18-Sept-04		
Dimanche	19-Sept-04		
Lundi	20-Sept-04	4,4	0,77
Mardi	21-Sept-04	4,9	0,80
Mercredi	22-Sept-04	4,8	0,79
Jeudi	23-Sept-04	5,3	0,86
Vendredi	24-Sept-04		
Samedi	25-Sept-04		
Dimanche	26-Sept-04		
Lundi	27-Sept-04	4,8	0,90
Mardi	28-Sept-04	5	0,81
Mercredi	29-Sept-04	5	0,78
Jeudi	30-Sept-04	5,7	0,93

Taux de déchets moyenne = 0,84 %

MOIS D'OCTOBRE

DATE		POIDS (kg)	POURCENTAGE (%)
Vendredi	1-Oct-04	4,5	0,75
Samedi	2-Oct-04		
Dimanche	3-Oct-04		
Lundi	4-Oct-04	4,7	0,82
Mardi	5-Oct-04	4,7	0,74
Mercredi	6-Oct-04	4,8	0,80
Jeudi	7-Oct-04	4,3	0,78
Vendredi	8-Oct-04	5,5	0,94
Samedi	9-Oct-04		
Dimanche	10-Oct-04		
Lundi	11-Oct-04	4,7	0,90
Mardi	12-Oct-04	4,1	0,72
Mercredi	13-Oct-04	3,9	0,72
Jeudi	14-Oct-04	4,4	0,74
Vendredi	15-Oct-04	4,6	0,81
Samedi	16-Oct-04		
Dimanche	17-Oct-04		
Lundi	18-Oct-04	4,2	0,75
Mardi	19-Oct-04	5,5	0,92
Mercredi	20-Oct-04	4,1	0,79
Jeudi	21-Oct-04	3,6	0,66
Vendredi	22-Oct-04	3,3	0,63
Samedi	23-Oct-04		
Dimanche	24-Oct-04		
Lundi	25-Oct-04	3,3	0,65
Mardi	26-Oct-04	4,1	0,75
Mercredi	27-Oct-04	3,4	0,66
Jeudi	28-Oct-04	3,9	0,76
Vendredi	29-Oct-04	3,1	0,61
Samedi	30-Oct-04		
Dimanche	31-Oct-04		

Taux de déchets moyenne = 0,76 %

MOIS DE NOVEMBRE

DATE		POIDS (kg)	POURCENTAGE (%)
Lundi	1-Nov-04		
Mardi	2-Nov-04		
Mercredi	3-Nov-04		
Jeudi	4-Nov-04		
Vendredi	5-Nov-04		
Samedi	6-Nov-04		
Dimanche	7-Nov-04		
Lundi	8-Nov-04	3,4	0,74
Mardi	9-Nov-04	4 ,5	0,77
Mercredi	10-Nov-04	4,2	0,68
Jeudi	11-Nov-04	4,3	0,67
Vendredi	12-Nov-04	3,7	0,61
Samedi	13-Nov-04		
Dimanche	14-Nov-04		
Lundi	15-Nov-04	4,2	0,72
Mardi	16-Nov-04	4,3	0,69
Mercredi	17-Nov-04	3,4	0,57
Jeudi	18-Nov-04	3,8	0,66
Vendredi	19-Nov-04	4,3	0,76
Samedi	20-Nov-04		
Dimanche	21-Nov-04		
Lundi	22-Nov-04	3,5	0,69
Mardi	23-Nov-04	3,4	0,66
Mercredi	24-Nov-04	4,1	0,74
Jeudi	25-Nov-04	3,4	0,66
Vendredi	26-Nov-04	3,8	0,70
Samedi	27-Nov-04		
Dimanche	28-Nov-04		
Lundi	29-Nov-04	4,2	0,83
Mardi	30-Nov-04	4,6	0,77

Taux de déchets moyenne = 0,70 %

MOIS DE DECEMBRE

DATE		POIDS (kg)	POURCENTAGE (%)
Mercredi	1-Déc-04	4,4	0,78
Jeudi	2-Déc-04	4,1	0,78
Vendredi	3-Déc-04	3,7	0,63
Samedi	4-Déc-04		
Dimanche	5-Déc-04		
Lundi	6-Déc-04	4,3	0,75
Mardi	7 Déc-04	4	0,69
Mercredi	8-Déc-04	4	0,64
Jeudi	9-Déc-04		
Vendredi	10-Déc-04	4,8	0,83
Samedi	11-Déc-04		
Dimanche	12-Déc-04		
Lundi	13-Déc-04	3,8	0,65
Mardi	14-Déc-04	3,9	0,61
Mercredi	15-Déc-04	4	0,65
Jeudi	16-Déc-04	3,2	0,61
Vendredi	17-Déc-04	3,5	0,66
Samedi	18-Déc-04		
Dimanche	19-Déc-04		
Lundi	20-Déc-04	2,8	0,62
Mardi	21-Déc-04	3,4	0,61
Mercredi	22-Déc-04	3,7	0,70
Jeudi	23-Déc-04	5,2	0,98
Vendredi	24-Déc-04		
Samedi	25-Déc-04		
Dimanche	26-Déc-04		
Lundi	27-Déc-04	2,3	0,86
Mardi	28-Déc-04	2,8	1,58
Mercredi	29-Déc-04	5,7	1,32
Jeudi	30-Déc-04	3,8	1,4

Taux de déchets moyenne = 0,82 %

ANNEXE N°2

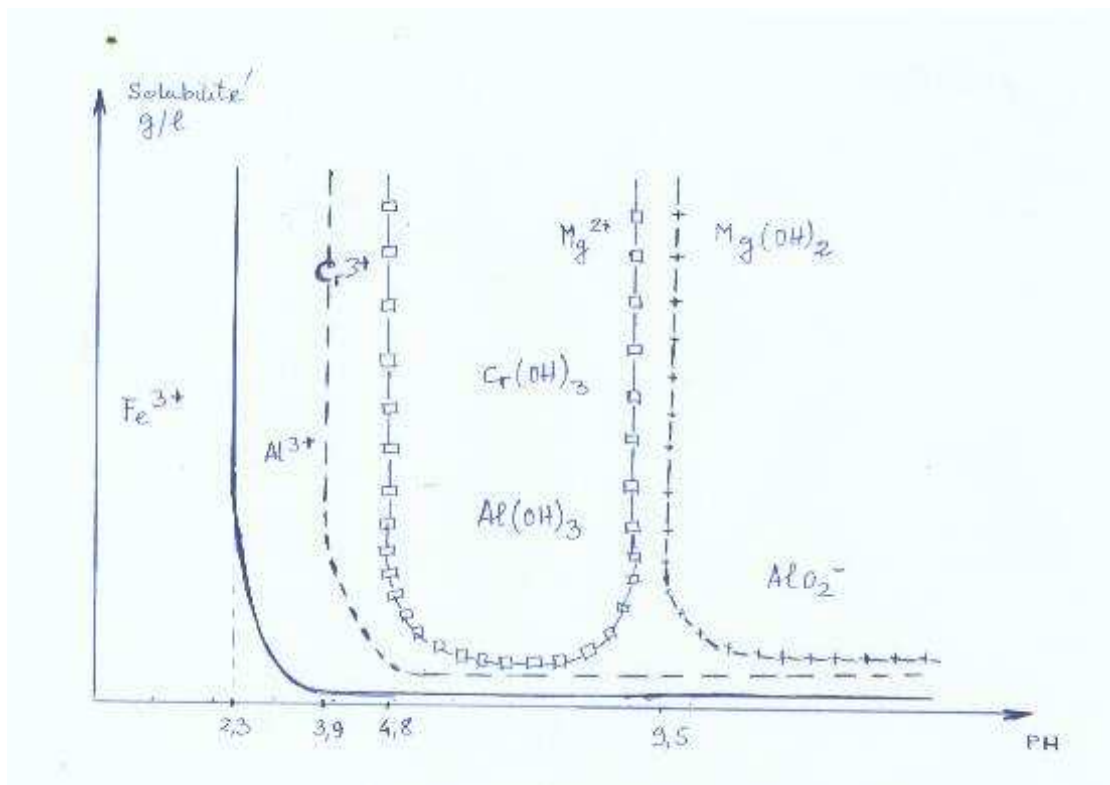
AUTRES EFFETS DE L'UTILISATION DE LA CHROMITE

Dans la vie quotidienne l'utilisation du chrome fait penser automatiquement au problème de l'environnement, car dans la nature la présence des composés de chrome est considérée comme des actes de pollution.

Cependant notre étude antérieure nous a démontré que les séparations des différents composés de chromes se font facilement par des réactions de précipitations en jouant seulement sur le potentiel hydrogène (PH) du milieu.

Les courbes de solubilité des composés de chrome nous montrent cette méthode

Courbe de solubilité de chrome en fonction du PH



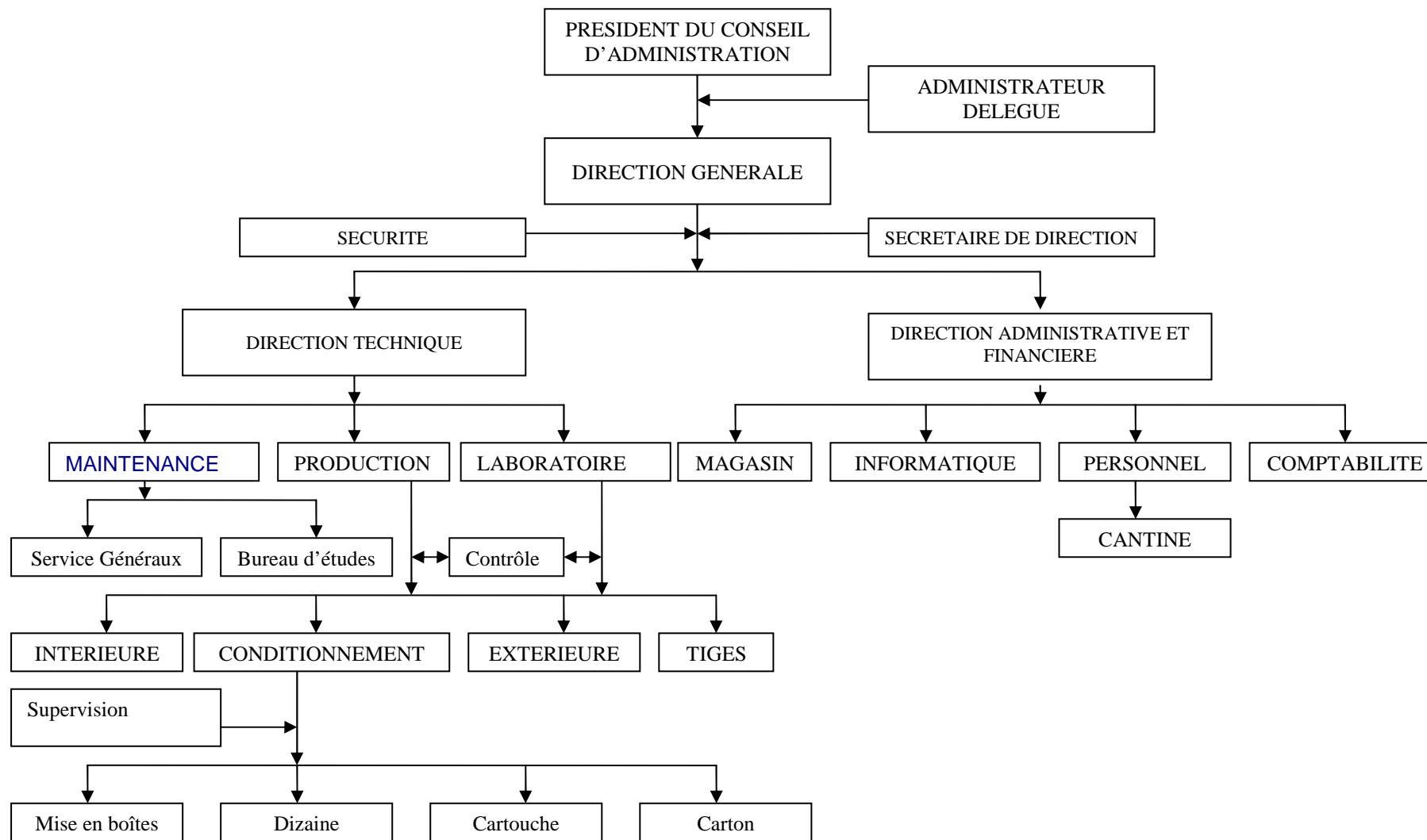
———— : Fer
----- : Aluminium
+ — + — + : Magnésium
□—□—□—□— : Chrome

Nous voyons dans cette courbe que pour palier aux dangers causés par le chrome dans la nature (cas de chrome six Cr^{+6} par exemple) il suffit de créer un bassin de traitement des eaux résiduaires avec un potentiel hydrogène entre : $3,8 \ll \text{PH} \ll 9$.

Dans ce cas le chrome se trouve sous forme d'hydroxyde en additionnant des agents de précipitation convenable (NH_4OH par exemple), et peut se séparer facilement.

ANNEXE N° 3

ORGANIGRAMME DE LA SOCIETE VARATRAFO



Nom : **RAKOTO**

Prénoms : **Daniel Andrianarivo**

Titre : **ETUDE SUR L'UTILISATION DE LA CHROMITE DANS LA FABRICATION DES ALLUMETTES DE SURETE**

Nombre de pages : **98**

Nombre de tableaux : **17**

Nombre de figures : **15**

RESUME

Dans ce travail, nous avons étudié et démontré la possibilité de remplacer totalement le dioxyde de manganèse et le bichromate de potassium par la chromite naturelle de MADAGASCAR dans la production des allumettes de sûreté.

La chromite utilisée est la chromite d'ANDRIAMENA sous sa forme marchande.

Nous avons établi une formulation qui donne des allumettes de très bonnes caractéristiques d'allumage et dont les performances techniques sont les mêmes ou meilleures que celles de l'ancienne formulation.

L'utilisation de la chromite présente de nombreux avantages :

- Contrairement au bichromate de potassium, la chromite, pratiquement inerte à l'ambiante, donne des têtes d'allumettes peu sensibles à l'humidité.
- De plus la poudre de chromite ne présente pas le caractère noir salissant du dioxyde de manganèse.
- Nous avons également montré que le taux de déchets des tiges avec têtes est abaissé de 1% à 0,6%. Ceci est lié à la diminution de la densité des pâtes de têtes d'allumettes.

A partir des données statistiques disponibles, une évaluation financière sommaire de la substitution a été effectuée, au niveau des coûts directs et des coûts indirects et se solde par un montant d'environ de 217.000.000 FMG (43.400.000 Ariary).

Mots clés : allumettes, pâtes têtes, allumettes de sûreté, chromite, dioxyde de manganèse, bichromate de potassium, substitution, allumage.

Rapporteur : **Monsieur Etienne RAKOTOMARIA, Professeur Titulaire**