

MÉDITERRANÉE

Prévention de la
pollution dans le
**secteur de la céramique
de construction**

production

PROPRE



Centre d'activités régionales pour la production propre (CAR/PP)
Plan d'action pour la Méditerranée



Centre d'activités régionales
pour la production propre



Ministerio de Medio Ambiente
España



Generalitat de Catalunya
Departament de Medi Ambient
i Habitatge

Prévention de la pollution dans le **secteur de la céramique de construction**

Centre d'activités régionales pour la production propre (CAR/PP)
Plan d'action pour la Méditerranée



PNUE



Centre d'activitats regionals
pour la production propre



Ministerio de Medio Ambiente
España



Generalitat de Catalunya
**Departament de Medi Ambient
i Habitatge**

Remarque : Cette publication peut-être reproduite intégralement ou partiellement, à des fins éducatives et non-lucratives, sans consentement spécifique du Centre d'activités régionales pour la production propre (CAR/PP), à la stricte condition que l'origine des informations soit mentionnée. Le CAR/PP souhaite recevoir un exemplaire de toute publication pour laquelle ce matériel aurait servi de source.

L'exploitation des ces informations n'est pas autorisée à des fins commerciales ou de vente sans le consentement écrit du CAR/PP.

Si vous considérez qu'un point de l'étude peut faire l'objet d'une amélioration ou si vous détectez des imprécisions, nous vous remercions de bien vouloir nous en faire part.

Étude terminée en avril 2006

Étude publiée en setembre 2006

Si vous souhaitez obtenir des exemplaires supplémentaires de cet ouvrage ou pour toute information complémentaire, veuillez contacter le :

Centre d'activités régionales pour la production propre (CAR/PP)

C/ París, 184 – 3^a planta
08036 Barcelona (Espagne)
Tél. : +34 93 415 11 12 – Fax : +34 93 237 02 86
Courrier électronique : cleanpro@cprac.org
Site Internet : <http://www.cprac.org>

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUCTION | 13 |
| 1.1. OBJECTIFS | 14 |
| 1.2. STRUCTURE DU MANUEL | 14 |
| 2. SECTEUR DE LA CÉRAMIQUE DE CONSTRUCTION | 17 |
| 2.1. SITUATION DU SECTEUR DE LA CÉRAMIQUE DE CONSTRUCTION DANS LA RÉGION MÉDITERRANÉE | 17 |
| 2.1.1. Albanie | 23 |
| 2.1.2. Algérie | 23 |
| 2.1.3. Bosnie-Herzégovine | 24 |
| 2.1.4. Chypre | 25 |
| 2.1.5. Croatie | 25 |
| 2.1.6. Égypte | 26 |
| 2.1.7. Espagne | 26 |
| 2.1.8. France | 32 |
| 2.1.9. Grèce | 35 |
| 2.1.10. Israël | 35 |
| 2.1.11. Italie | 35 |
| 2.1.12. Liban | 39 |
| 2.1.13. Libye | 39 |
| 2.1.14. Malte | 40 |
| 2.1.15. Maroc | 40 |
| 2.1.16. Monaco | 40 |
| 2.1.17. Slovénie | 40 |
| 2.1.18. Syrie | 41 |
| 2.1.19. Tunisie | 41 |
| 2.1.20. Turquie | 41 |
| 2.2. CARACTÉRISTIQUES DU SECTEUR | 42 |
| 2.2.1. Matières premières utilisées | 42 |
| 2.2.1.1. <i>Argiles kaoliniques (blanches)</i> | 42 |
| 2.2.1.2. <i>Argiles montmorillonitiques ou smectiques</i> | 42 |
| 2.2.1.3. <i>Argiles illitiques</i> | 43 |
| 2.2.2. Produits adjuvants | 43 |
| 2.2.3. Principaux combustibles utilisés | 44 |
| 2.2.3.1. <i>Gaz naturel</i> | 44 |
| 2.2.3.2. <i>Coke de pétrole</i> | 44 |
| 2.2.3.3. <i>Fioul</i> | 45 |
| 2.2.3.4. <i>Charbon</i> | 46 |
| 2.2.3.5. <i>Biomasse</i> | 46 |
| 2.2.4. Diagramme de flux | 46 |

| | |
|--|-----------|
| 3. PHASES D'ÉLABORATION DES PRODUITS CÉRAMIQUES | 49 |
| 3.1. SCHÉMA GÉNÉRAL..... | 50 |
| 3.2. RÉCEPTION ET STOCKAGE DES MATIÈRES PREMIÈRES | 52 |
| 3.3. BROYAGE | 54 |
| 3.4. FAÇONNAGE | 57 |
| 3.4.1. Malaxage | 57 |
| 3.4.2. Moulage..... | 58 |
| 3.5. SÉCHAGE..... | 60 |
| 3.6. CUISSON..... | 63 |
| 3.7. PRÉPARATION ET STOCKAGE DU PRODUIT | 66 |
| 3.8. OPÉRATIONS AUXILIAIRES | 67 |
| 3.8.1. Cogénération | 68 |
| 3.8.2. Chaudières à vapeur | 69 |
| 3.9. RÉCAPITULATIF DES ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX..... | 70 |
| 4. ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX LIÉS À LA CÉRAMIQUE DE CONSTRUCTION | 75 |
| 4.1. ÉMISSIONS ATMOSPHÉRIQUES..... | 75 |
| 4.2. CONSOMMATION D'ÉNERGIE | 77 |
| 4.3. CONSOMMATION D'EAU | 78 |
| 4.4. PRODUCTION DE BRUIT | 79 |
| 4.5. EAUX RÉSIDUAIRES..... | 79 |
| 4.6. PRODUCTION DE DÉCHETS..... | 79 |
| 5. COMBUSTIBLES UTILISÉS DANS LE SECTEUR DE LA CÉRAMIQUE DE CONSTRUCTION .. | 83 |
| 5.1. PRINCIPAUX COMBUSTIBLES UTILISÉS DANS LE SECTEUR..... | 83 |
| 5.1.1. Gaz naturel..... | 84 |
| 5.1.2. Coke de pétrole | 85 |
| 5.1.3. Coke micronisé | 86 |
| 5.1.4. Fioul | 87 |
| 5.1.5. Charbon..... | 88 |
| 5.1.6. Biomasse..... | 90 |
| 5.1.7. Émissions générées | 91 |
| 5.1.8. Comparaison des combustibles | 92 |
| 6. OPPORTUNITÉS DE PRÉVENTION DE LA POLLUTION DANS LE SECTEUR DE LA CÉRAMIQUE DE CONSTRUCTION | 95 |
| 6.1. RÉDUCTION À LA SOURCE | 98 |
| 0-1 Réduction des émissions diffuses découlant de la circulation des véhicules | 98 |
| 0-2 Utilisation de combustibles solides moins polluants pendant la cuisson | 99 |
| 0-3 Formation du personnel de maintenance..... | 100 |
| 0-4 Facilitation de la gestion des déchets | 101 |
| 0-5 Diminution de la production de déchets dangereux..... | 102 |
| 0-6 Nettoyage à sec | 103 |

| | | |
|------------|---|------------|
| 6.2. | BONNES PRATIQUES | 104 |
| 0-7 | Contrôle régulier des machines | 104 |
| 0-8 | Installation de régulateurs sur les tuyaux utilisés pour l'arrosage des produits finis | 106 |
| 0-9 | Régulation de la quantité d'air introduite dans le four..... | 107 |
| 0-10 | Contrôle de l'eau utilisée pour le malaxage | 108 |
| 0-11 | Contrôle des pertes dans les circuits hydrauliques et pneumatiques..... | 109 |
| 6.3. | RECYCLAGE À LA SOURCE | 110 |
| 0-12 | Réutilisation du produit avant cuisson | 110 |
| 6.4. | MODIFICATION DU PROCESSUS..... | 112 |
| 0-13 | Récupération des gaz chauds produits par le four pour leur réintroduction dans le séchoir..... | 112 |
| 0-14 | Réduction des émissions diffuses lors du stockage de la matière première et/ou du combustible | 113 |
| 0-15 | Diminution des émissions diffuses générées hors de l'usine | 115 |
| 6.5. | NOUVELLES TECHNOLOGIES..... | 116 |
| 0-16 | Utilisation de la cogénération pour la production de vapeur..... | 116 |
| 0-17 | Mise en place de compteurs de consommation de gaz naturel | 117 |
| 0-18 | Installation de brûleurs à haute vitesse pour le préchauffage du four | 119 |
| 0-19 | Diminution du bruit généré pendant le broyage..... | 120 |
| 0-20 | Mise en place d'un système d'éclairage à faible consommation | 121 |
| 0-21 | Installation de chasses d'eau à double commande | 122 |
| 0-22 | Améliorations relatives à la distribution d'air dans les séchoirs..... | 123 |
| 0-23 | Remplacement des moteurs conventionnels par des moteurs à haut rendement ... | 124 |
| 0-24 | Extrusion en pâte dure..... | 125 |
| 6.6. | TABLEAU RÉCAPITULATIF | 125 |
| 7. | CAS PRATIQUES | 127 |
| 7.1. | UTILISATION DE COMBUSTIBLES SOLIDES MOINS POLLUANTS | 127 |
| 7.2. | CONTRÔLE DES PERTES DANS LES CIRCUITS HYDRAULIQUES ET PNEUMATIQUES..... | 129 |
| 7.3. | RÉGULATION DE LA QUANTITÉ D'AIR INTRODUITE DANS LE FOUR | 130 |
| 7.4. | RÉUTILISATION DU PRODUIT AVANT CUISSON..... | 131 |
| 7.5. | RÉCUPÉRATION DES GAZ CHAUDS PRODUITS PAR LE FOUR POUR LEUR RÉINTRODUCTION DANS LE SÉCHOIR | 133 |
| 7.6. | INSTALLATION DE COGÉNÉRATION..... | 134 |
| 7.7. | INSTALLATION DE BRÛLEURS À HAUTE VITESSE DANS LE FOUR..... | 137 |
| 7.8. | MISE EN PLACE D'UN SYSTÈME D'ÉCLAIRAGE À FAIBLE CONSOMMATION | 137 |
| 7.9. | CAPOTAGE DES MACHINES POUR LA DIMINUTION DU BRUIT | 139 |
| 7.10. | INSTALLATION DE MOTEURS À HAUT RENDEMENT | 140 |
| 8. | RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS..... | 143 |
| 9. | BIBLIOGRAPHIE..... | 147 |
| 10. | REMERCIEMENTS..... | 151 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|--|-----|
| Tableau 2.1 : Indicateurs économiques des pays de la région Méditerranée | 19 |
| Tableau 2.2 : Coûts pour une usine produisant en moyenne 50 000 t/an | 29 |
| Tableau 2.3 : Évolution du secteur en Espagne | 31 |
| Tableau 2.4 : Situation du secteur de la construction en France | 32 |
| Tableau 2.5 : Évolution du nombre de logements | 32 |
| Tableau 2.6 : Évolution du secteur de la construction | 36 |
| Tableau 2.7 : Taux de croissance annuel de la construction en Italie | 36 |
| Tableau 2.8 : Exportations italiennes de produits céramiques (en millions de dollars) | 38 |
| Tableau 2.9 : Ventes du secteur | 38 |
| Tableau 3.1 : Critères d'évaluation des aspects environnementaux | 50 |
| Tableau 3.2 : Aspects environnementaux associés à la fabrication de produits céramiques de construction | 72 |
| Tableau 4.1 : Valeurs moyennes des émissions atmosphériques dans le secteur de la céramique de construction | 76 |
| Tableau 4.2 : Évaluation qualitative de la consommation d'énergie dans le secteur de la céramique de construction | 77 |
| Tableau 4.3 : Consommation d'énergie thermique en fonction du type de four | 78 |
| Tableau 4.4 : Évaluation qualitative de la consommation d'eau dans le secteur de la céramique de construction | 78 |
| Tableau 4.5 : Déchets générés au cours des principales opérations | 80 |
| Tableau 4.6 : Déchets produits lors d'opérations auxiliaires | 81 |
| Tableau 4.7 : Évaluation qualitative des déchets générés dans le secteur | 82 |
| Tableau 5.1 : Composition chimique du gaz naturel | 84 |
| Tableau 5.2 : Caractéristiques du gaz naturel | 85 |
| Tableau 5.3 : Composition chimique du coke de pétrole | 85 |
| Tableau 5.4 : Caractéristiques générales du coke de pétrole | 86 |
| Tableau 5.5 : Composition chimique du coke micronisé | 86 |
| Tableau 5.6 : Caractéristiques générales du coke micronisé | 87 |
| Tableau 5.7 : Composition chimique du fioul | 87 |
| Tableau 5.8 : Caractéristiques du fioul | 88 |
| Tableau 5.9 : Caractéristiques des différents types de charbon | 89 |
| Tableau 5.10 : Composition chimique des différents types de charbon | 89 |
| Tableau 5.11 : Caractéristiques générales du charbon | 90 |
| Tableau 5.12 : Composition chimique du marc d'olives | 90 |
| Tableau 5.13 : Caractéristiques générales de la biomasse | 91 |
| Tableau 5.14 : Facteurs d'émission par type de combustible | 91 |
| Tableau 5.15 : Avantages et inconvénients de l'utilisation des différents combustibles dans le secteur de la céramique de construction | 93 |
| Tableau 6.1 : Schéma de base de chacune des opportunités de prévention de la pollution | 96 |
| Tableau 6.2 : Liste des opportunités de prévention de la pollution | 97 |
| Tableau 6.3 : Opportunité de prévention n° 1 | 98 |
| Tableau 6.4 : Opportunité de prévention n° 2 | 99 |
| Tableau 6.5 : Opportunité de prévention n° 3 | 100 |
| Tableau 6.6 : Opportunité de prévention n° 4 | 101 |
| Tableau 6.7 : Opportunité de prévention n° 5 | 102 |
| Tableau 6.8 : Opportunité de prévention n° 6 | 103 |
| Tableau 6.9 : Opportunité de prévention n° 7 | 104 |
| Tableau 6.10 : Maintenance de la maquinaria | 105 |
| Tableau 6.11 : Opportunité de prévention n° 8 | 106 |
| Tableau 6.12 : Opportunité de prévention n° 9 | 107 |
| Tableau 6.13 : Opportunité de prévention n° 10 | 108 |
| Tableau 6.14 : Opportunité de prévention n° 11 | 109 |
| Tableau 6.15 : Opportunité de prévention n° 12 | 110 |
| Tableau 6.16 : Opportunité de prévention n° 13 | 112 |
| Tableau 6.17 : Opportunité de prévention n° 14 | 113 |
| Tableau 6.18 : Opportunité de prévention n° 15 | 115 |
| Tableau 6.19 : Opportunité de prévention n° 16 | 116 |
| Tableau 6.20 : Opportunité de prévention n° 17 | 117 |
| Tableau 6.21 : Opportunité de prévention n° 18 | 119 |
| Tableau 6.22 : Opportunité de prévention n° 19 | 120 |
| Tableau 6.23 : Opportunité de prévention n° 20 | 121 |
| Tableau 6.24 : Opportunité de prévention n° 21 | 122 |
| Tableau 6.25 : Opportunité de prévention n° 22 | 123 |
| Tableau 6.26 : Opportunité de prévention n° 23 | 124 |
| Tableau 6.27 : Opportunité de prévention n° 24 | 125 |

| | |
|--|-----|
| Tableau 6.28 : Résumé de l'incidence des opportunités de prévention de la pollution sur les aspects environnementaux | 126 |
| Tableau 7.1 : Délai de retour sur investissement en fonction du combustible utilisé à l'origine | 129 |
| Tableau 7.2 : Économies réalisées | 130 |
| Tableau 7.3 : Excès d'air nécessaire en fonction du type de combustible | 130 |
| Tableau 7.4 : Principaux avantages et inconvénients des différents types de cogénération | 136 |
| Tableau 7.5 : Types de lampes les plus employés | 138 |

LISTE DES FIGURES

| | |
|---|-----|
| Figure 2.1 : Production mondiale de produits céramiques | 20 |
| Figure 2.2 : Importations et exportations des pays de l'UE-15 | 20 |
| Figure 2.3 : Importations des pays de l'UE-15 | 21 |
| Figure 2.4 : Exportations des pays de l'UE-15 | 21 |
| Figure 2.5 : Principaux exportateurs de produits céramiques (en volume) | 22 |
| Figure 2.6 : Exportations des pays de la région Méditerranée | 22 |
| Figure 2.7 : Production de briques en Algérie | 24 |
| Figure 2.8 : Évolution du nombre d'industries en activité | 27 |
| Figure 2.9 : Évolution de la production | 27 |
| Figure 2.10 : Évolution du nombre de projets envisagés | 28 |
| Figure 2.11 : Évolution du nombre de logements dont la construction a été engagée | 28 |
| Figure 2.12 : Évolution du nombre de logements terminés | 29 |
| Figure 2.13 : Évolution du nombre de travailleurs | 30 |
| Figure 2.14 : Évolution du nombre de permis de construire à vocation résidentielle délivrés en France | 33 |
| Figure 2.15 : Évolution du nombre de permis de construire délivrés et de constructions commencées à vocation résidentielle | 33 |
| Figure 2.16 : Évolution de la surface concédée et sur laquelle la construction a commencé (en m ²) | 34 |
| Figure 2.17 : Évolution de la surface non résidentielle créée et concédée (en pourcentage par rapport à l'année précédente) | 34 |
| Figure 2.18 : Évolution du nombre de constructions résidentielles, de constructions non résidentielles et d'agrandissements de constructions existantes | 37 |
| Figure 2.19 : Diagramme de flux de la fabrication de produits céramiques | 47 |
| Figure 3.1 : Structure générale du diagramme de flux d'une opération | 49 |
| Figure 3.2 : Processus de fabrication de matériaux céramiques de construction | 51 |
| Figure 3.3 : Aspects environnementaux de la réception et du stockage des matières premières | 52 |
| Figure 3.4 : Aspects environnementaux du transport d'argile au sein du site | 53 |
| Figure 3.5 : Aspects environnementaux liés au broyage | 56 |
| Figure 3.6 : Aspects environnementaux liés au malaxage | 58 |
| Figure 3.7 : Boudineuse à rouleaux | 59 |
| Figure 3.8 : Aspects environnementaux liés au moulage | 60 |
| Figure 3.9 : Schéma d'un séchoir à briques | 61 |
| Figure 3.10 : Aspects environnementaux liés au séchage | 62 |
| Figure 3.11 : Schéma d'un four tunnel | 63 |
| Figure 3.12 : Schéma d'un four Hoffmann | 65 |
| Figure 3.13 : Aspects environnementaux liés au séchage artificiel | 65 |
| Figure 3.14 : Aspects environnementaux liés au stockage des produits finis | 67 |
| Figure 3.15 : Aspects environnementaux liés à la cogénération | 69 |
| Figure 3.16 : Schéma du procédé d'osmose inverse | 70 |
| Figure 3.17 : Aspects environnementaux liés à la production de vapeur à partir d'une chaudière | 70 |
| Figure 3.18 : Processus de fabrication de produits céramiques de construction et aspects environnementaux associés | 71 |
| Figure 6.1 : Classement des opportunités de prévention de la pollution | 95 |
| Figure 6.2 : Combustion en défaut d'air | 107 |
| Figure 7.1 : Schéma de réutilisation des produits défectueux avant cuisson | 132 |
| Figure 7.2 : Récupérateur de chaleur de fumées rejetées par le four | 133 |
| Figure 7.3 : Système conventionnel comparé à un système de cogénération | 135 |
| Figure 7.4 : Comparaison de l'émission de bruit avec et sans mesures correctives | 140 |

LISTE DES IMAGES

| | |
|---|-----|
| Photo 2.1 : Argile utilisée dans le processus de fabrication de produits céramiques | 43 |
| Photo 2.2 : Four à céramique équipé de brûleurs à alimentation mixte fioul/coke micronisé | 45 |
| Photo 3.1 : Stockage mixte des matières premières à ciel ouvert et en entrepôt..... | 52 |
| Photo 3.2 : Transport de l'argile au sein du site par le biais de convoyeurs à bande en caoutchouc..... | 53 |
| Photo 3.3 : Broyage en voie sèche | 55 |
| Photo 3.4 : Broyage en voie semi-humide | 55 |
| Photo 3.5 : Grattoir rotatif de distribution..... | 56 |
| Photo 3.6 : Malaxeur | 57 |
| Photo 3.7 : Extrudeuse..... | 59 |
| Photo 3.8 : Ventilateurs destinés au brassage de l'air à l'intérieur du séchoir | 62 |
| Photo 3.9 : Four tunnel, produit au sortir du processus de cuisson..... | 64 |
| Photo 3.10 : Empilage du produit avant mise sous film plastique rétractable..... | 66 |
| Photo 3.11 : Stock de produits finis..... | 66 |
| Photo 3.12 : Machine utilisée pour le conditionnement du produit avant distribution | 67 |
| Photo 3.13 : Procédé de cogénération à partir de fioul | 68 |
| Photo 3.14 : Chaudière à production de vapeur..... | 69 |
| Photo 6.1 : Produits défectueux après moulage..... | 111 |
| Photo 6.2 : Stockage de la matière première en hangar fermé | 114 |
| Photo 6.3 : Asperseurs d'eau pour le déchargement de la matière première..... | 114 |
| Photo 6.4 : Convoyeur à bande capoté destiné au transport de l'argile | 115 |
| Photo 6.5 : Compteur de gaz naturel | 118 |
| Photo 6.6 : Ventilateurs coniques..... | 124 |
| Photo 7.1 : Distribution du coke de pétrole dans l'installation | 128 |
| Photo 7.2 : Stockage du coke de pétrole en silos | 128 |
| Photo 7.3 : Réutilisation des gaz produits par le four de cuisson..... | 134 |
| Photo 7.4 : Brûleurs à haute vitesse dans un four tunnel..... | 137 |
| Photo 7.5 : Lampes à vapeur de sodium haute pression | 139 |
| Photo 7.6 : Groupe de moteurs à haut rendement | 140 |

1. INTRODUCTION

L'évolution du secteur de la construction, qui a enregistré un essor important dans la plupart des pays de la Méditerranée, constitue l'un des principaux facteurs d'influence sur la production des industries du secteur de la céramique de construction.

Au cours de ces dernières années, ce phénomène a fait du secteur de la céramique de construction l'un des plus importants en termes de production.

En outre, ce secteur compte un grand nombre d'entreprises familiales, en évolution constante, et dont l'objectif est de s'adapter aux nouveaux besoins du marché. Ces entreprises requièrent pour cela l'incorporation de nouvelles technologies et doivent se maintenir à l'écoute des exigences environnementales toujours plus sévères.

Les principaux produits fabriqués peuvent être classés en différentes familles :

- Briques
- Tuiles
- Hourdis
- Blocs
- Revêtements
- Pavés
- Treillis
- Carreaux
- Panneaux
- Autres

Dû à la forte concurrence et à l'apparition de nouvelles solutions constructives destinées avant tout à la maçonnerie d'intérieur (notamment l'utilisation de plaques de parement en plâtre ; solution propre, rapide et économique), il s'est avéré nécessaire de rechercher de nouvelles formes d'exploitation de la céramique de construction, ce qui a entraîné la multiplication des études à ce sujet au cours des dernières années.

Les campagnes de promotion qui ont été lancées dans certains corps de métier du secteur sont le fruit de ces initiatives.

La formation spécifique dans le domaine de la céramique de construction a élargi son offre, aidant par la même les responsables et les travailleurs en général à prendre conscience de l'importance et des possibilités de ce secteur afin d'amorcer une amélioration continue, aussi bien au niveau des processus qu'en termes d'obtention de nouveaux produits.

Historiquement, les actions environnementales des entreprises de la céramique se sont limitées à des procédures extrêmement concrètes d'épuration des gaz rejetés, au détriment de la promotion d'actions prenant en compte le processus de production dans son intégralité. En incorporant les critères environnementaux dans l'ensemble du processus, la gestion d'entreprise peut s'orienter vers l'éco-efficacité, entraînant simultanément à une hausse de la compétitivité.

1.1. OBJECTIFS

Les exigences toujours plus sévères de la réglementation et de la législation environnementales, associées à la prise de conscience générale de la population quant à la nécessité de protéger l'environnement, ont conduit la société actuelle à appeler à davantage de respect de la part des entreprises et de leurs processus de production. Tous ces points obligent désormais les entreprises à intégrer des aspects liés à la protection de l'environnement au sein de la gestion de la production.

Ce manuel est destiné à des entreprises du secteur de la céramique de construction, aux caractéristiques diverses. Il a pour objectif de fournir des solutions réelles en vue d'amorcer la minimisation à la source des consommations et des flux résiduaux en évitant, dans la mesure du possible, le recours aux traitements en bout de chaîne qui s'avèrent beaucoup plus coûteux et moins efficaces.

Les recommandations contenues dans cet ouvrage prétendent favoriser cette réduction de la pollution à la source par le biais de modifications du processus de fabrication, de l'application de bonnes pratiques, de l'utilisation de matériaux et de produits différents, ou de l'emploi de nouvelles technologies plus respectueuses de l'environnement.

1.2. STRUCTURE DU MANUEL

Le présent manuel est structuré de la manière suivante :

Le **chapitre 1** est consacré à l'introduction du manuel comprenant les objectifs et la structure de ce dernier.

Le **chapitre 2** présente une approche générale de la situation actuelle du secteur dans chacun des pays de la région Méditerranée, en mettant l'accent sur les pays à forte production et à vocation internationale.

En outre, ce chapitre vise à étudier les caractéristiques du secteur en abordant tout d'abord les principales matières premières à partir desquelles sont obtenues les argiles qui formeront la céramique cuite, puis en s'intéressant aux processus de préparation associés.

Les principaux combustibles employés dans la fabrication de la céramique de construction y sont également décrits (gaz naturel, coke de pétrole, fioul, charbon et biomasse).

Le **chapitre 3** expose une analyse des principales phases d'élaboration des produits céramiques : réception et stockage des matières premières, broyage, façonnage, séchage, cuisson, entreposage des produits finis et opérations auxiliaires. Chaque phase est accompagnée d'une description des technologies et des aspects environnementaux qui lui sont rattachés, ainsi que du diagramme représentant les flux circulant en entrée et en sortie d'opération.

Le **chapitre 4** présente une synthèse des principaux aspects environnementaux sur lesquels influe la fabrication de matériaux céramiques destinés à la construction : consommation d'eau, consommation d'énergie, déchets produits, bruit généré, production d'eaux résiduaux et émissions atmosphériques.

Le **chapitre 5** décrit les principaux combustibles actuellement utilisés dans le secteur de la céramique de construction en abordant les caractéristiques et l'efficacité environnementale de chacun d'eux. Ce chapitre contient notamment une étude sur les modifications pouvant être apportées au processus de production en vue d'améliorer sa consommation et, par là même, son efficacité.

Le **chapitre 6** se consacre à la description et à l'analyse des actions favorisant la réduction et le recyclage à la source. Cette partie propose également des améliorations telles que la remise à l'étude des produits et des processus, ainsi que des alternatives susceptibles de minimiser les émissions et les déchets ou de diminuer l'impact de ces derniers.

Le **chapitre 7** expose différents cas pratiques d'application de mesures de prévention de la pollution dans les industries de la céramique de construction.

Enfin, le **chapitre 8** résume les principales conclusions tirées de ce manuel.

2. SECTEUR DE LA CÉRAMIQUE DE CONSTRUCTION

Les entreprises de ce secteur se consacrent à la fabrication de briques, de tuiles et autres produits à base d'argile cuite. Elles font partie du groupe des industries dédiées à la fabrication de produits minéraux non métalliques pour lesquelles la consommation d'énergie revêt une importance primordiale sur l'ensemble des coûts.

Il s'agit d'un secteur fortement corrélé à l'évolution des cycles économiques et à l'activité de la construction.

Ces industries sont généralement implantées à proximité des gisements de matières premières et des centres de consommation dans l'optique de minimiser les coûts de transport de ces produits à faible valeur ajoutée.

Les processus de production de briques et de matériaux céramiques font appel à un traitement mécanique comprenant l'extraction et la préparation des argiles et autres matériaux, le façonnage des objets, le séchage, la cuisson dans des fours à haute température et le finissage du produit.

Englobant les nouvelles édifications et les travaux de rénovation, la construction est un facteur déterminant pour l'activité du marché de la céramique. Elle est en effet tributaire :

- du niveau des investissements des secteurs de la clientèle (industrie, services et administration) destinés aux projets de construction, d'agrandissement ou de rénovation des sites de production, des locaux administratifs ou logistiques ;
- des besoins des ménages relatifs à la rénovation de leurs habitations.

La construction peut être classée en fonction de deux critères :

- Le lieu des travaux réalisés :
 - **Zone résidentielle** : habitations individuelles à proprement parlé (maisons individuelles), lotissements (habitations individuelles construites au moyen d'un même permis), habitations collectives (immeubles résidentiels) et logements résidentiels (auberges, résidences universitaires, casernes, pensions, hôtels, motels, centres de colonies de vacances, etc.).
 - **Zone non résidentielle** : constructions agricoles, industrielles et commerciales, bâtiments administratifs et centres d'enseignement.
- La nature des travaux réalisés :
 - **Gros œuvre** : travaux de construction de bâtiments comprenant les maisons individuelles clé en main ainsi que les travaux de montage et de levage.
 - **Second œuvre** : opérations de finition (ossatures, toitures, isolations, charpenterie, vitrage, installation électrique ou thermique, plâtre, peinture, etc.) ainsi que les travaux de réhabilitation et rénovation.

2.1. SITUATION DU SECTEUR DE LA CÉRAMIQUE DE CONSTRUCTION DANS LA RÉGION MÉDITERRANÉE

Cette section présente une vue d'ensemble de la situation économique du secteur de la construction et du secteur des matériaux céramiques au sein des différents pays de la région Méditerranée.

Les vingt pays situés sur le littoral méditerranéen et retenus dans le cadre de cette étude sont les suivants :

- Albanie
- Algérie
- Bosnie-Herzégovine
- Chypre
- Croatie
- Égypte
- Espagne
- France
- Grèce
- Israël
- Italie
- Liban
- Libye
- Malte
- Maroc
- Monaco
- Slovénie
- Syrie
- Tunisie
- Turquie

Le tableau ci-après présente les principaux indicateurs économiques des pays de la région Méditerranée.

Tableau 2.1 : Indicateurs économiques des pays de la région Méditerranée.

| | SUPERFICIE (KM²) | PIB (€) | PIB EN R&D (€) | PIB PAR HABITANT | HABITANTS |
|--------------------------------|--|-------------------|-------------------------------|-----------------------------|------------------|
| Albanie | 28 750 | 4 806 966 483 | 1 105 602 291 | 1 932,57 | 3 169 000 |
| Algérie | 2 381 740 | 51 797 458 850 | 16 057 212 243 | 2 073,09 | 31 833 000 |
| Bosnie- Herzégovine | 51 200 | 5 465 502 446 | 1 093 100 488 | 1 681,962172 | 4 140 000 |
| Chypre | 9 250 | 8 935 724 356 | 0.00 | 14 785,14 | 770 000 |
| Croatie | 56 540 | 22 230 275 245 | 6 002 174 316 | 1 716,128857 | 4 456 000 |
| Égypte | 1 001 450 | 64 696 938 073 | 10 998 479 472 | 1 220,076288 | 67 559 000 |
| Espagne | 505 990 | 1 371 981 512 713 | 260 676 487 415 | 20 342,57786 | 41 101 000 |
| France | 551 500 | 13 582 245 338 | 31 239 164 278 | 29 267,02 | 59 725 000 |
| Grèce | 131 960 | - | - | 16 202,68 | 10 680 000 |
| Israël | 21 060 | 1 150 578 935 068 | 230 115 787 013 | | 6 688 000 |
| Italie | 301 340 | 14 913 206 307 | 2 535 245 072 | 25 429,26 | 57 646 000 |
| Liban | 10 400 | - | - | 4 224,14 | 4 498 000 |
| Libye | 1 759 540 | - | - | - | 5 559 000 |
| Malte | 320 | - | - | - | 399 000 |
| Maroc | 446 550 | 34 920 755 750 | 8 031 773 822 | 1 477,46 | 30 113 000 |
| Monaco | 2,00* | 20 630 417 606 | 2 415 985 769 | - | 32 100 |
| Slovénie | 20 250 | 656 253 908 879 | 415 138 | 13 382,98552 | 1 964 000 |
| Syrie | 185 180,00 | 16 888 479 441 | 3 884 350 271 | 1 237,73 | 17 384 000 |
| Tunisie | 163 610,00 | 19 058 902 919 | 4 764 725 729 | 2 453,97 | 9 895 000 |
| Turquie | 774 820,00 | 186 783 939 870 | 39 224 627 372 | 3 365,37 | 70 712 000 |

Source : Banque Mondiale, 2003

*Source : www.socialwatch.org

La région Méditerranée se caractérise principalement par son immense capacité d'exportation et d'importation, favorisée par sa situation géographique permettant le transport par voie maritime.

Il convient de souligner l'activité florissante de certains pays comme l'Espagne et l'Italie qui constituent deux des premiers producteurs mondiaux de produits céramiques destinés à la construction. L'Italie est le principal producteur de céramique et représente 15,3 % de la production mondiale. L'Espagne est le deuxième producteur mondial avec 15,1 % du volume total de production. Loin derrière se trouvent la Turquie avec 4,2 % et la France avec 1 %.

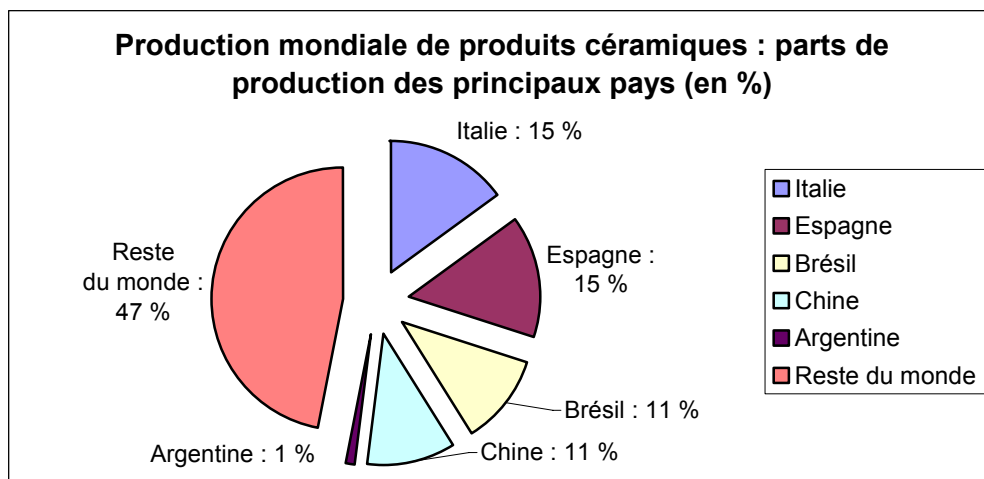


Figure 2.1 : Production mondiale de produits céramiques

Les principaux pays exportateurs en termes de volume font partie de la région Méditerranée, à savoir l'Italie avec une part mondiale de 40,8 %, l'Espagne (26,4 %) et la Turquie (4,7 %). L'Italie et l'Espagne rassemblent à elles deux 67,2 % des exportations mondiales. Parmi les 20 premiers pays exportateurs de produits céramiques se trouvent la Turquie, avec 4,7 % des parts mondiales, et la France, avec 1,9 %.

Pour ce qui est des pays de la région Méditerranée importateurs de produits céramiques provenant d'Italie, la France se démarque avec 14,1 % des achats mondiaux, suivie de la Grèce avec 2,9 %.

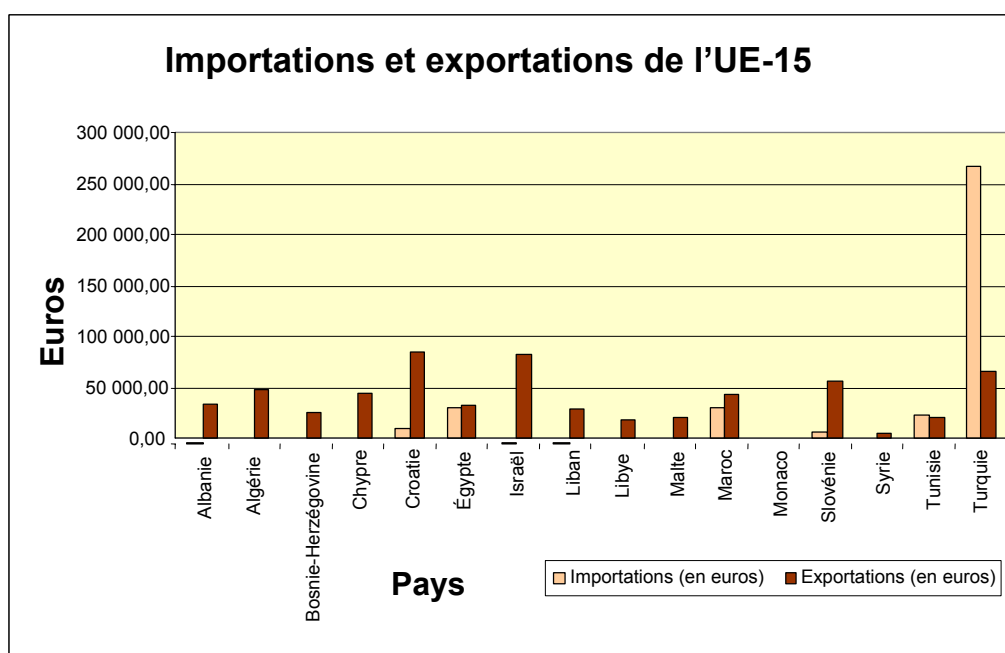


Figure 2.2 : Importations et exportations des pays de l'UE-15

Parmi les pays de la région Méditerranée, ceux appartenant à l'Union européenne des 15 se distinguent clairement (en raison de leur récente entrée en 2004, les nouveaux pays membres n'ont pas suffisamment développé le commerce auprès des pays de l'union). Les pays de l'UE-15 affichent en effet une industrialisation importante du secteur de la céramique de construction et se caractérisent par un marché intracommunautaire plus développé. Les importations et les exportations avec les autres pays de la Méditerranée sont représentées sur les graphiques ci-dessous.

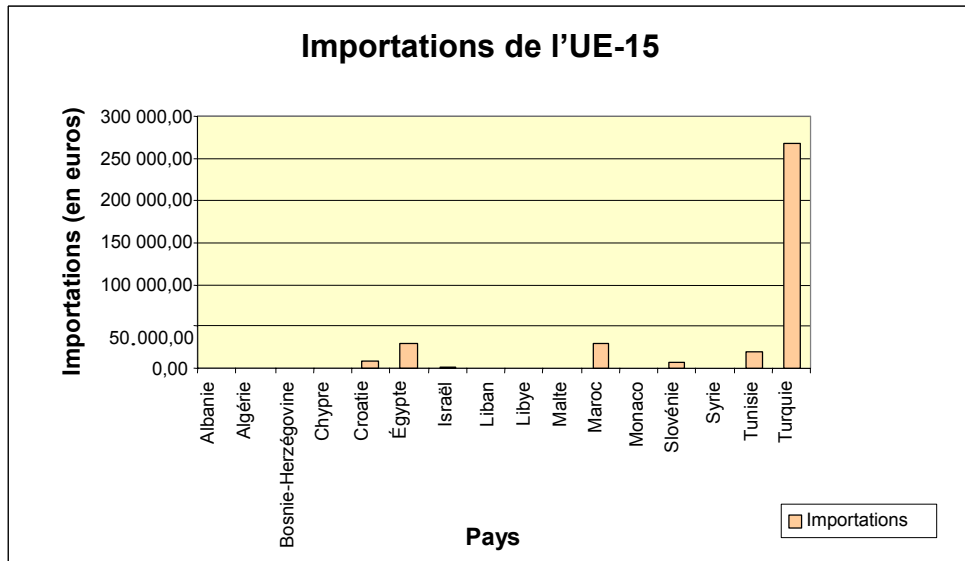


Figure 2.3 : Importations des pays de l'UE-15

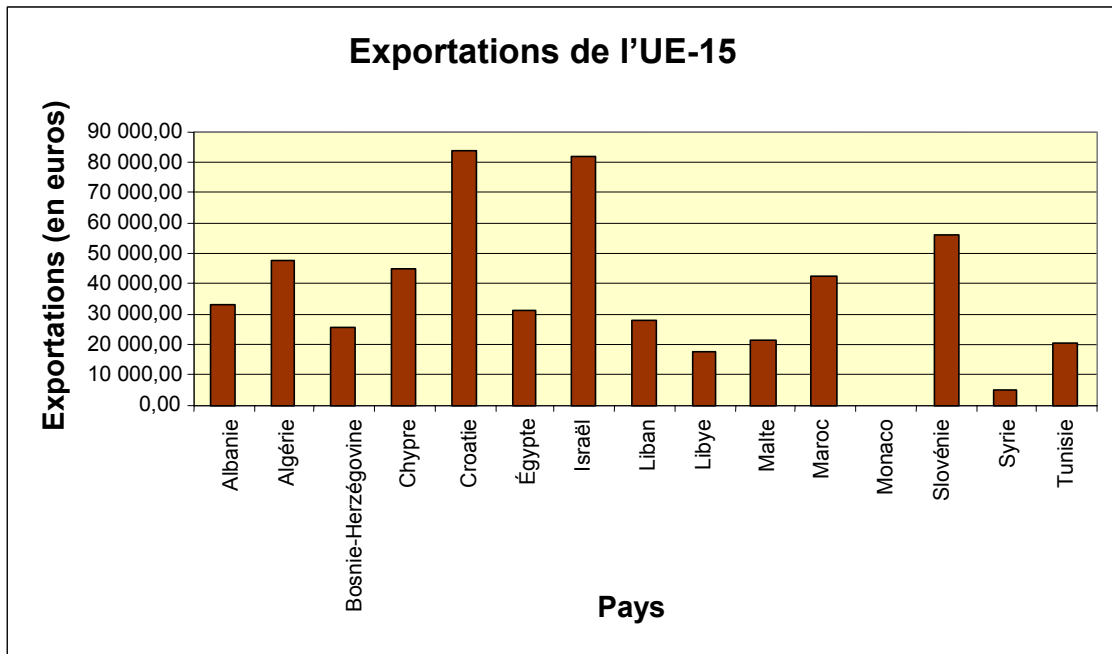


Figure 2.4 : Exportations des pays de l'UE-15

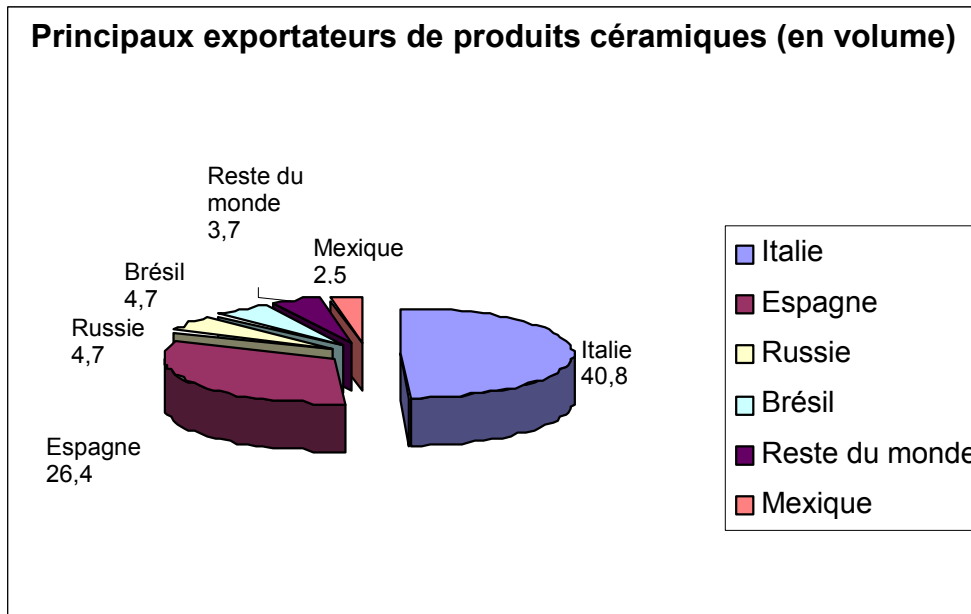


Figure 2.5 : Principaux exportateurs de produits céramiques (en volume)

Comme nous pouvons le constater, le volume des importations provenant des pays hors de l'Union européenne est largement inférieur à celui des exportations réalisées par ces mêmes pays. Ceci est principalement dû au pouvoir d'achat des pays de l'Union européenne qui se traduit par une activité importante dans le domaine de la construction et, par conséquent, par une demande plus forte en ce qui concerne les produits céramiques.

Le graphique ci-dessous représente les exportations des pays de la région Méditerranéenne. L'Italie est le premier pays exportateur suivi de l'Espagne. À eux deux, ces pays totalisent 57 % des exportations.

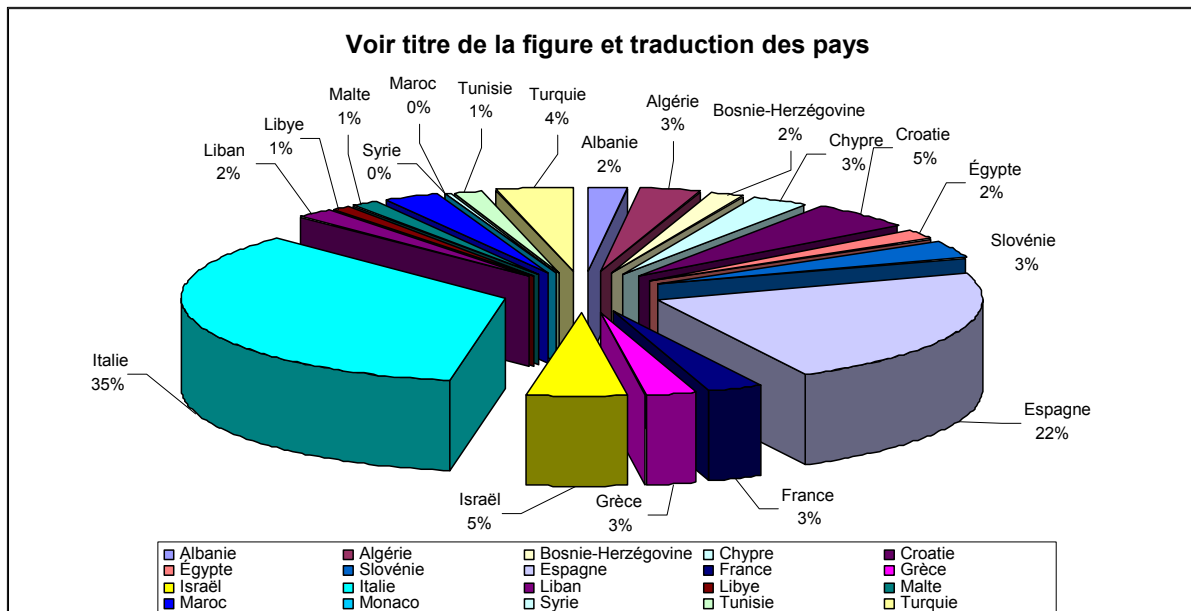


Figure 2.6 : Exportations des pays de la région Méditerranéenne

2.1.1. Albanie

L'Albanie est peuplée de plus de 3 400 000 habitants dont 65 % vivent en zone rurale et 35 % en zone urbaine. Parmi les données générales de ce pays, il convient de souligner que 79 % des entreprises albanaises disposent d'un employé et que 52 % d'entre elles exercent leur activité dans le secteur du commerce. D'autre part, 10 % des entreprises font partie du secteur industriel et se concentrent principalement à Tirana, Durrës et dans le district d'Elbasan.

Outre l'agriculture (l'Albanie est un pays en pleine transition où l'agriculture joue encore un rôle important dans le PNB), la construction est le secteur le plus dynamique au sein de l'économie du pays avec des croissances annuelles supérieures à 11 %.

Au vu des besoins de développement en matière d'infrastructures et de transports, il y a fort à parier que le secteur de la céramique ou, à défaut, l'importation de ses produits, enregistrera une forte croissance dans les prochaines années étant donné que l'Albanie est avantagée en termes de production industrielle par rapport aux autres pays de la Méditerranée grâce à des charges salariales relativement faibles.

2.1.2. Algérie

Le secteur de la construction et celui des travaux publics représentent 10,8 % de l'économie du pays, soit un PIB de 299,4 millions de dinars algériens au cours de ces dernières années.

L'Algérie possède un important tissu industriel composé de 150 entreprises publiques qui, au cours de ces dernières années, se sont regroupées en holdings et dont on prévoit pour la plupart une privatisation prochaine car nombre d'entre elles produisent au-dessous de leur véritable capacité. Le secteur de la céramique se démarque quant à lui au sein de l'industrie légère du pays.

Le secteur de la construction, premier consommateur de matériaux céramiques, souffre d'un fort endettement auprès du secteur bancaire.

Le pays présente un important déficit de logements et, parallèlement, le domaine des infrastructures de transport et de distribution d'eau requiert davantage de moyens.

Les principales entreprises du secteur de la construction sont regroupées dans la holding publique BMC (12 cimenteries, 3 briqueteries avec 34 unités de production et 2 entreprises de produits céramiques et sanitaires).

Les entreprises du secteur de la céramique sont actuellement en cours de privatisation. En 2001, les matériaux de construction représentaient 8,2 % de l'activité du secteur privé algérien.

Dans son programme, le gouvernement algérien prévoit de relancer la construction de logements dans les années à venir, ce qui conduirait à une hausse de la consommation de produits de construction et donc, de produits céramiques.

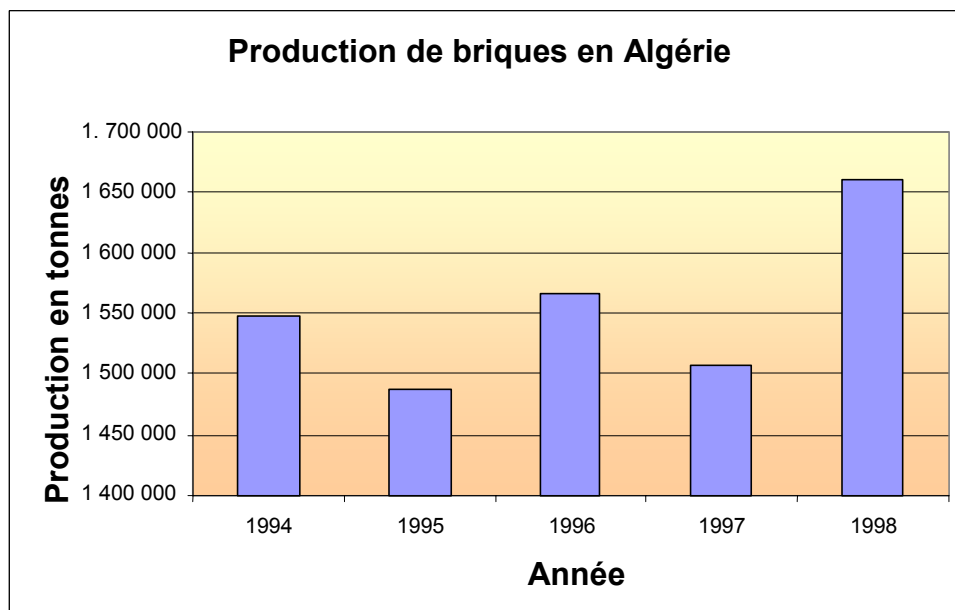


Figure 2.7 : Production de briques en Algérie

2.1.3. Bosnie-Herzégovine

Avant la guerre (1992-1995), la Bosnie-Herzégovine possédait une importante base industrielle relativement développée. Son activité était concentrée en 10-15 conglomérats appartenant à l'État et représentait 35 % du PIB, le reste des entreprises étant de taille réduite. Aujourd'hui, certains de ces conglomérats ont signé des accords de joint-venture auprès d'entreprises étrangères.

Des efforts ont été portés sur la libéralisation des entreprises et sur l'introduction d'une véritable économie de marché, mais ces derniers restent encore insuffisants. Les plus gros progrès réalisés ont été enregistrés au sein de la Fédération de Bosnie-Herzégovine.

Outre la destruction physique des infrastructures, les principaux problèmes rencontrés par l'industrie résident dans le caractère obsolète de sa capacité, le manque de capitaux, la destruction de ses circuits de distribution et la perte de ses marchés. Le gouvernement se retrouve également face à un problème de taille car d'importants groupes de pression exigent la récupération des grands conglomérats propriété de l'État afin d'éviter des licenciements massifs. Malgré tout, la tendance est à la scission de ces grandes entreprises en petites unités.

Après la guerre, le secteur de la construction et, par conséquent, celui de l'industrie de la céramique de construction, a enregistré un essor important découlant des besoins de reconstruction des zones dévastées.

Actuellement, on dénombre 22 grands producteurs de matériaux de construction exerçant leur activité en collaboration avec un grand nombre d'entreprises de construction. Toutes ces entités se caractérisent par le fait d'être privatisées et de taille réduite.

Le secteur professionnel de la Bosnie-Herzégovine n'est pas encore suffisamment structuré et les associations du secteur privé tardent à s'organiser. Ce problème sera pallié dès que la majorité des entreprises publiques auront été privatisées. Il ne s'est donc, jusqu'à présent, formé aucune association spécifique au secteur de la céramique de construction.

Les entrepreneurs privés se mettent cependant en contact pour mener à bien des actions mutuelles contre le gouvernement en vue d'obtenir les meilleures conditions pour chacun de leurs marchés.

Le secteur de la céramique de construction est composé d'entreprises capables de répondre à la demande locale mais affichent un potentiel d'exportation limité.

2.1.4. Chypre

À Chypre, le secteur de la construction représente environ 7 % du PIB et 9 % de la population active.

Après le partage de l'île en deux régions en 1983 (la partie nord turco-chypriote et la partie sud gréco-chypriote), le secteur de la construction a enregistré un essor considérable lié au lancement, par le gouvernement, de la construction de logements pour les réfugiés et au développement de projets d'infrastructure pour la mise sur pied de nouveaux ports et aéroports.

À la fin des années 80, une nouvelle période de croissance du secteur a été observée suite à la construction de nouveaux hôtels et restaurants. De ce fait, la consommation des produits provenant du secteur de la céramique de construction a enregistré une augmentation considérable.

Au cours de la décennie actuelle, le secteur a augmenté son activité. À partir de 2001, une forte impulsion de la construction a été constatée grâce à l'intérêt porté par la population locale et étrangère envers les biens immobiliers, notamment les résidences de vacances et les projets gouvernementaux d'infrastructure.

En 2003, le nombre total de nouveaux permis de construire délivrés a augmenté de 14,8 % et la valeur totale de la construction de 17,1 %. Cette croissance s'est principalement manifestée dans le secteur résidentiel.

De par la demande de la population chypriote et étrangère (rappelons que le secteur touristique représente l'une des plus importantes entrées d'argent de l'île), le nombre de permis délivrés a augmenté de 47,1 % en 2003.

Actuellement, on constate une période de régression de l'activité de la construction même si aucun chiffre exact ne permet de corroborer cette tendance.

2.1.5. Croatie

La transition difficile vers une économie de marché, le début du conflit de l'ex-Yougoslavie et la perte des marchés extérieurs ont provoqué une situation de crise au sein de l'économie croate dont celle-ci n'a pu se défaire qu'à la fin de l'année 1993. En 1998, la Croatie a entamé sa reconstruction grâce à une croissance économique favorisée par la réussite du plan de stabilisation (octobre 1994), la restauration de la paix (novembre 1995) ainsi que les réformes économiques et législatives. Après la récession de 1999, qui a principalement affecté le secteur industriel, et la conciliation de 2000, de nouvelles perspectives de croissance économique à court et moyen terme sont apparues, en grande partie grâce à l'augmentation des investissements.

Depuis l'indépendance, le programme de la politique économique affiche comme principal objectif la privatisation des entreprises d'État.

Le secteur de la construction croate revêt une grande importance dans l'économie du pays. Celui-ci générerait en effet 5,9 % du PIB et employait 77 300 personnes fin 2003. Depuis 2001, la Croatie montre des signes de reprise grâce à l'amélioration de sa situation économique, à la réception de fonds provenant de l'UE et d'organismes financiers multilatéraux et à l'apport de devises étrangères provenant du tourisme. Outre l'activité de construction exercée sur le territoire croate, le secteur participe au développement de projets et de travaux dans d'autres pays comme la Bosnie-Herzégovine, la Russie, l'Allemagne, quelques pays du Moyen-Orient et du nord de l'Afrique.

2.1.6. Égypte

L'industrie égyptienne a traditionnellement été dominée par le secteur public ce qui a laissé des séquelles importantes qui se traduisent par une faible productivité, par une utilisation inappropriée de la capacité de production et par des effectifs démesurés. Cependant, depuis l'implantation de mesures libérales en 1991 et la mise en œuvre du programme de privatisations en 1996, les investissements privés ont un poids beaucoup plus important.

Les entreprises d'État représentent encore 40 % de la production industrielle et près de 80 % des exportations de produits industriels. Elles emploient 55 % de la main-d'œuvre totale du pays. Bien que le gouvernement encourage les projets industriels, le secteur privé doit faire face à un cadre réglementaire restrictif. L'activité privée s'oriente entre autres vers le domaine de la construction.

La céramique de construction est un secteur industriel qui joue un rôle relativement peu important dans l'économie du pays. La majorité de l'activité industrielle se concentre autour du Caire et d'Alexandrie.

2.1.7. Espagne

En Espagne, le secteur industriel se caractérise par un nombre élevé d'entreprises familiales disséminées sur l'ensemble du territoire.

Au cours de ces dernières années, le nombre d'entreprises a subi une évolution telle qu'il dépasse aujourd'hui la barre des 400 unités. Il en est de même pour le nombre d'employés qui atteint actuellement 10 500 personnes sur l'ensemble du territoire espagnol. Ces chiffres sont le véritable reflet de la croissance enregistrée par le tissu industriel.

La forte influence du coût des transports sur le prix final rend difficile la concentration des entreprises et l'installation d'immenses centres de production visant à approvisionner les régions les plus importantes.

Actuellement, la majeure partie de la production des industries de la céramique de construction est destinée à la consommation régionale ou nationale.

En règle générale, les exploitations sont implantées à proximité des usines étant donné que le faible coût de la matière première ne permet pas un transport suffisamment bon marché.

Les principales provinces productrices sont celles de Tolède (16 %), Barcelone (9 %) et Valence (8 %), dépassant les 2 millions de tonnes par an, suivies des provinces d'Alicante (6 %), de Jaén (5 %) et de La Rioja (5 %), produisant plus d'1 million de tonnes à l'année. Les formations géologiques qui peuvent être exploitées sont extrêmement, allant des argiles rouges de l'ère triasique jusqu'aux argiles marneuses du tertiaire marin caractéristiques de la dépression du Guadalquivir.

L'Espagne consomme environ 33 millions de tonnes d'argile destinées à la maçonnerie et à la fabrication de tuiles (y compris les revêtements en grès extrudé), ce qui représente une valeur en sortie de mine d'environ 82 M€.

Un tiers de la production nationale d'argile rouge destinée à cet usage se concentre dans l'arc méditerranéen Gérone-Alicante et quasiment la même proportion provient de la région centrale (Madrid, Castille-La-Manche, Castille-León et Aragon).

Production

Au cours des années 1996 et 1997, la production annuelle a subi une diminution vraisemblablement provoquée par la fermeture des entreprises obsolètes. L'augmentation enregistrée en 1998 et jusqu'en 2001 est due à l'établissement de nouvelles entreprises à forte production. Au cours des trois dernières années (à l'exception de 2003), la hausse a été beaucoup plus faible, s'expliquant par le

nombre infime de créations d'entreprises et par le fait que la fermeture des sites fonctionnant avec des fours « Hoffmann » ne se soit pas encore intervenue.

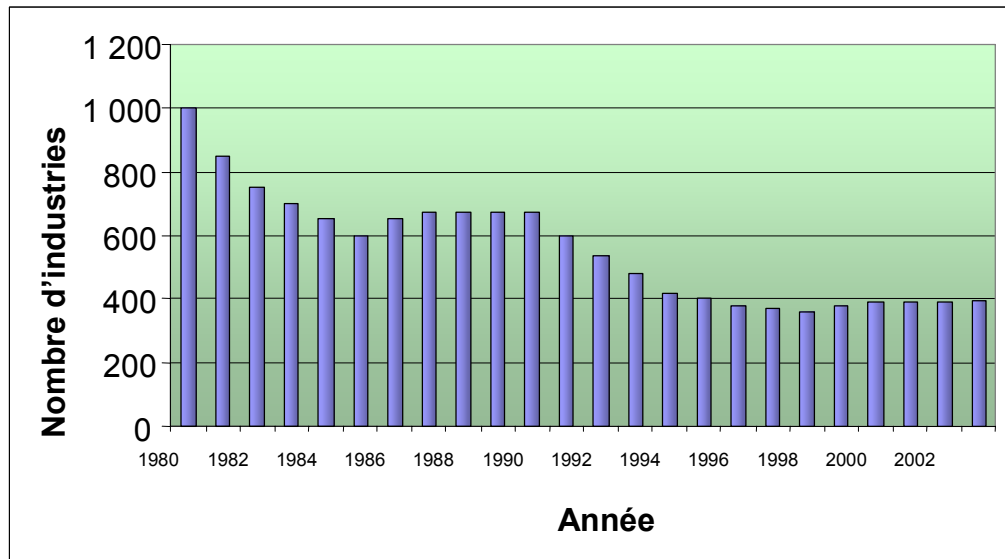


Figure 2.8 : Évolution du nombre d'industries en activité

En 2004, la production de matériaux céramiques à base d'argile cuite a augmenté de 1,4 millions de tonnes, soit une hausse de 5,8 % par rapport à l'année précédente.

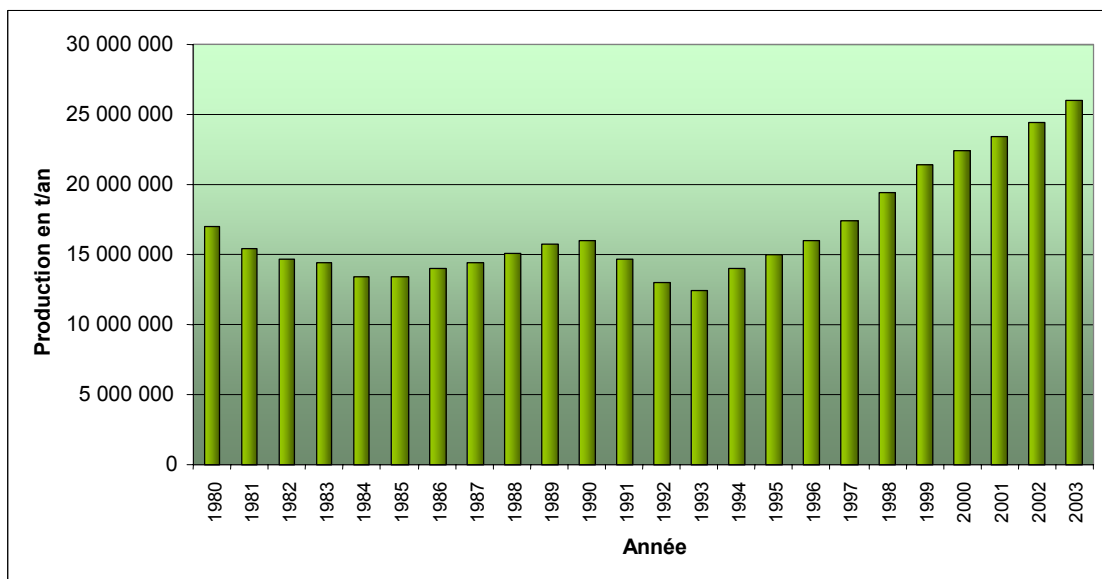


Figure 2.9 : Évolution de la production

L'utilisation de produits céramiques (qu'il s'agisse de briques, de blocs, de tuiles, de hourdis, de pavés, de treillis ou autres) poursuit son augmentation dû en grande partie au fait que les professionnels du secteur de la construction considèrent la céramique comme un matériau affichant des qualités remarquables lorsqu'il est combiné aux éléments de construction.

Il convient de souligner que les nouvelles installations se consacrent essentiellement à l'élaboration des produits suivants : tuiles et briques creuses de grande dimension. Au cours de l'année 2003, le secteur a investi 110 M€ afin d'augmenter la capacité productive et de répondre aux perspectives relatives à la demande de produits céramiques qui se sont confirmées tout au long de l'année 2004.

La dépendance du secteur de la céramique de construction vis-à-vis du nombre de logements érigés est incontestable au regard des données relatives à la construction de logements.

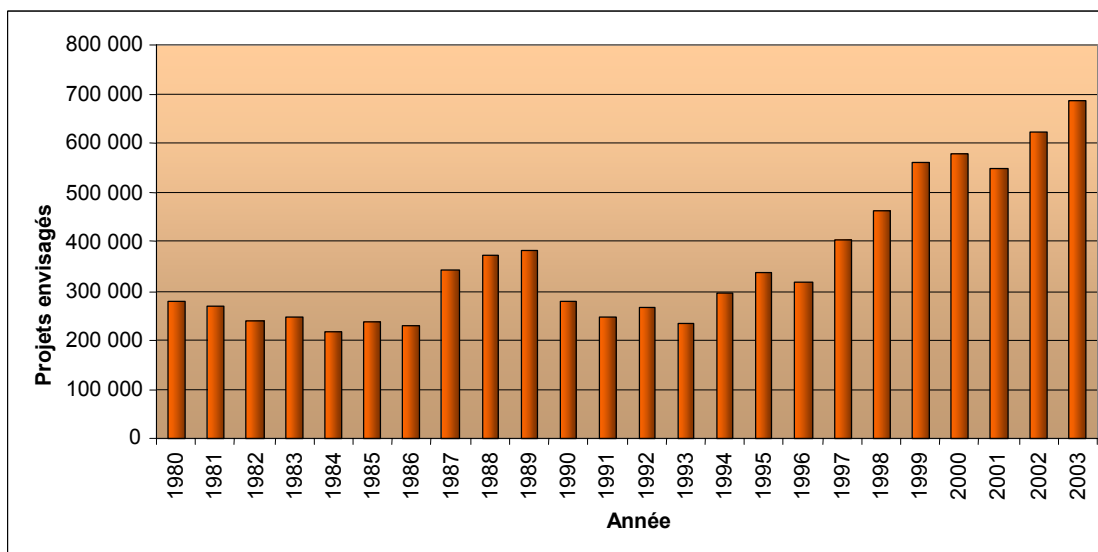


Figure 2.10 : Évolution du nombre de projets envisagés

Comme nous pouvons le constater, les projets envisagés ont connu une évolution parallèle à celle de la production de céramique de construction atteignant leur plus haut niveau en 2003.

En comparant ces données avec le nombre de logements dont la construction a été entamée, on observe encore davantage de concordance ainsi qu'une croissance continue depuis 1994. En définitive, on constate aussi bien une hausse de la production de céramique de construction qu'une recrudescence des logements dont la construction a commencé.

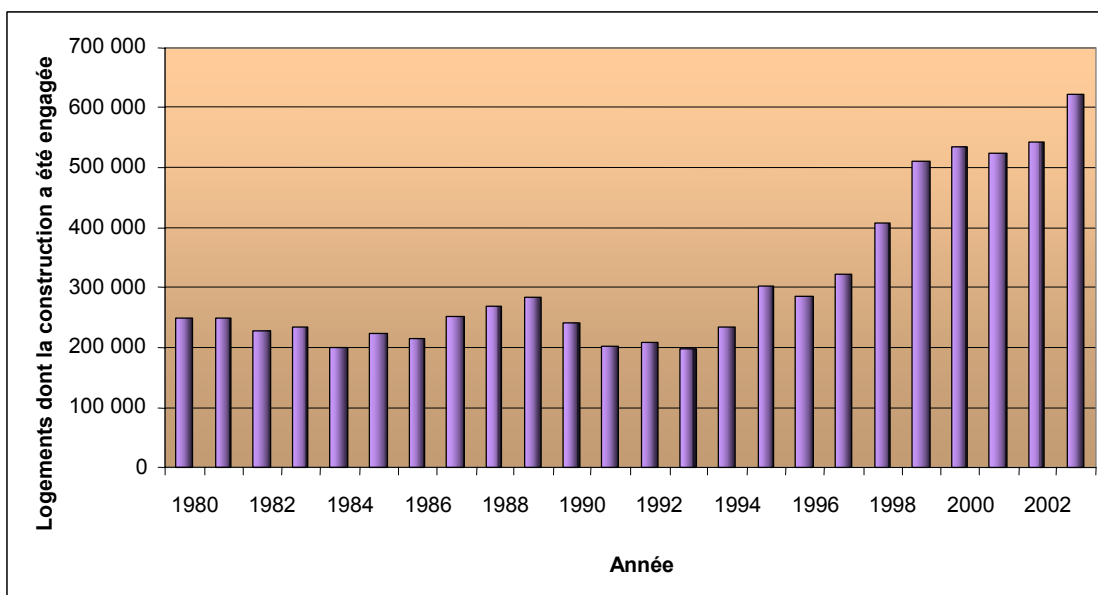


Figure 2.11 : Évolution du nombre de logements dont la construction a été engagée

Selon le graphique ci-dessous, le nombre de logements dont la construction s'est achevée a enregistré une augmentation permanente à partir de 1997 avec une forte hausse en 2001.

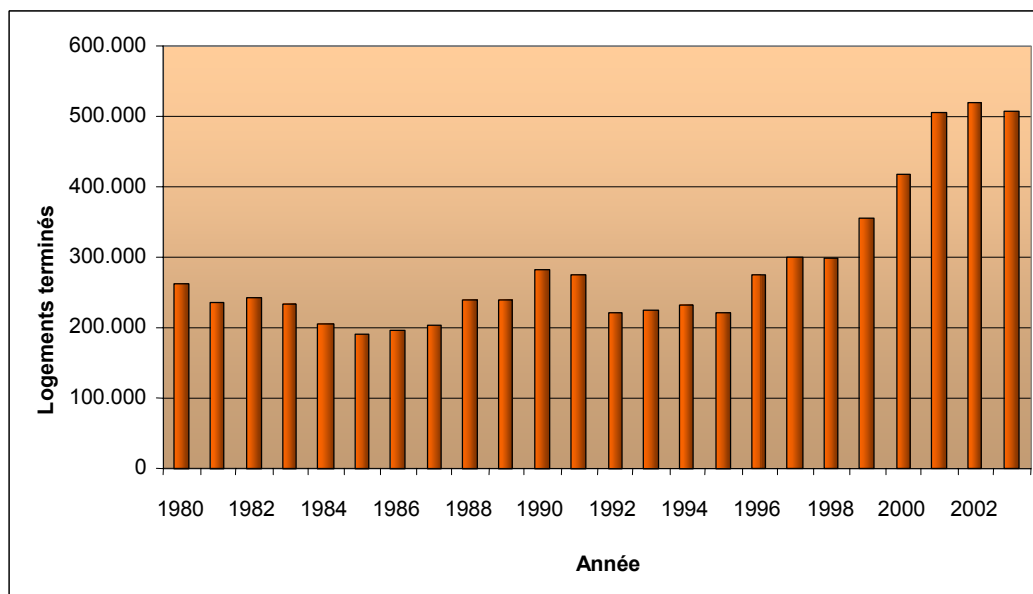


Figure 2.12 : Évolution du nombre de logements terminés

Coûts

Si l'on s'attarde sur la structure des coûts de l'industrie de la céramique de construction espagnole, on constate l'importance des dépenses en matière d'énergie et de personnel. À titre d'exemple, le tableau ci-après décrit la répartition des coûts moyens pour une usine affichant une production équivalente à 50 000 t/an.

Tableau 2.2 : Coûts pour une usine produisant en moyenne 50 000 t/an

| CÉRAMIQUE DE CONSTRUCTION | Structure des coûts |
|----------------------------------|---------------------|
| Matières premières | 8,35 % |
| Personnel | 32,65% |
| Énergie électrique | 10,62% |
| Énergie thermique | 25,27% |
| Carburants et lubrifiants | 1,14% |
| Emballages | 6,46% |
| Maintenance | 7,14% |
| Charges générales | 4,94% |
| Techniciens | 3,43% |

Rapport du Ministère espagnol de l'Industrie

Actuellement, la tendance est à la réduction des coûts de production par le biais de changements d'installations permettant une diminution de la consommation d'énergie, et à l'automatisation des procédés provoquant une baisse des charges salariales.

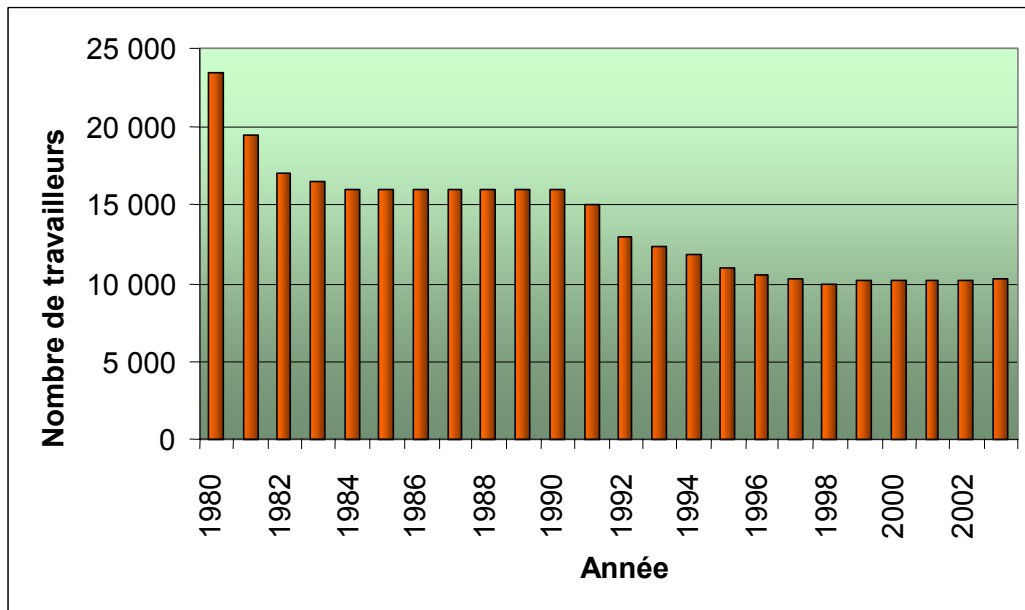


Figure 2.13 : Évolution du nombre de travailleurs

Associations en Espagne

Les fabricants de matériaux céramiques d'argile cuite sont regroupés au sein de l'Association espagnole des fabricants de briques et tuiles d'argile cuite (HISPALYT). Cette association a été fondée en 1968 par un petit nombre de fabricants conscients du besoin d'unir leurs efforts pour défendre les intérêts communs du secteur.

Aujourd'hui, HISPALYT est composée de près de 225 fabricants et d'environ 40 partenaires adhérents (fournisseurs de machines industrielles et d'équipements, matières premières, essais en laboratoire, conseil technique, etc.).

Le tableau suivant présente un résumé des données fournies par HISPALYT, qui décrit l'évolution des caractéristiques les plus importantes du secteur entre 1980 et 2003 (les données correspondant à l'année 2004 ne sont pas encore disponibles).

Tableau 2.3 : Évolution du secteur en Espagne

| Année | Nombre de travailleurs | Nombre d'industries | Production x 1 000 t/an | Logements commencés | Logements terminés | Projets envisagés |
|-------|------------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|--------------------|-------------------|
| 1980 | 23 500 | 1 000 | 17 000 | 250 000 | 263 000 | 280 000 |
| 1981 | 19 500 | 850 | 15 500 | 250 000 | 236 000 | 270 000 |
| 1982 | 17 000 | 750 | 14 700 | 228 000 | 243 000 | 240 000 |
| 1983 | 16 500 | 700 | 14 500 | 233 000 | 234 000 | 245 000 |
| 1984 | 16 000 | 650 | 13 500 | 200 000 | 204 000 | 215 000 |
| 1985 | 16 000 | 600 | 13 500 | 222 000 | 191 000 | 235 000 |
| 1986 | 16 000 | 650 | 14 000 | 215 000 | 195 000 | 230 000 |
| 1987 | 16 000 | 675 | 14 500 | 252 000 | 202 000 | 340 000 |
| 1988 | 16 000 | 675 | 15 100 | 269 000 | 239 000 | 370 000 |
| 1989 | 16 000 | 675 | 15 800 | 283 000 | 237 000 | 380 000 |
| 1990 | 16 000 | 675 | 16 000 | 239 000 | 281 000 | 280 000 |
| 1991 | 15 000 | 600 | 14 700 | 204 000 | 273 000 | 245 000 |
| 1992 | 13 000 | 540 | 13 000 | 210 000 | 222 000 | 264 661 |
| 1993 | 12 400 | 480 | 12 500 | 197 000 | 223 000 | 234 083 |
| 1994 | 11 800 | 420 | 14 000 | 233 427 | 229 824 | 295 027 |
| 1995 | 11 000 | 400 | 15 000 | 302 881 | 221 718 | 337 360 |
| 1996 | 10 500 | 380 | 16 000 | 286 832 | 274 223 | 319 456 |
| 1997 | 10 300 | 370 | 17 500 | 322 732 | 299 058 | 402 076 |
| 1998 | 10 000 | 360 | 19 500 | 407 380 | 297 928 | 460 845 |
| 1999 | 10 200 | 380 | 21 500 | 510 637 | 355 132 | 561 261 |
| 2000 | 10 200 | 390 | 22 500 | 533 579 | 415 793 | 578 385 |
| 2001 | 10 200 | 390 | 23 500 | 523 747 | 505 173 | 549 088 |
| 2002 | 10 200 | 390 | 24 500 | 543 060 | 519 868 | 622 979 |
| 2003 | 10 250 | 395 | 26 000 | 622 185 | 506 349 | 686 278 |

Fuente : Hispalyt

2.1.8. France

Le secteur industriel français se situe aux avant-postes de la technologie. Dans le secteur de la construction et des travaux publics, la France dispose d'un important réseau d'entreprises de toutes tailles. De par la grande quantité de filiales implantées à l'étranger, le degré d'internationalisation des entreprises françaises est lui aussi considérable. Pourtant, il existe encore et toujours de nombreuses entreprises familiales de petite taille.

La démarche de privatisation des industries publiques poursuit quant à elle son évolution.

Le tableau ci-dessous présente les chiffres relatifs à la production, aux ventes et aux investissements du secteur de la construction. Comme nous pouvons le constater, les investissements sont très élevés par rapport aux ventes : 70 % pour la construction et 82 % pour les travaux publics.

Tableau 2.4 : Situation du secteur de la construction en France

| | CONSTRUCTION | TRAVAUX PUBLICS |
|------------------------------|--------------|-----------------|
| Ventes | 147 800 | 39 430 |
| Investissements | 103 720 | 32 380 |
| Consommations intermédiaires | 35 080 | 7 050 |

En millions d'euros

Source : Tableaux de l'économie française 2003-2004

La construction de logements a évolué de la manière suivante :

Tableau 2.5 : Évolution du nombre de logements

| ANNÉE | NOMBRE DE LOGEMENTS |
|-------|---------------------|
| 2001 | 302 243 |
| 2002 | 302 689 |
| 2003 | 314 364 |

Après avoir subi une chute en 2000 et 2001 et s'être stabilisée en 2002, l'évolution du nombre de logements dont la construction a été engagée a augmenté de 9 % en 2003, soit la plus forte hausse depuis 1998. Ce chiffre est très proche de celui enregistré en 1999, année où le nombre de logements s'est avéré le plus élevé de la dernière décennie. L'ensemble des permis délivrés représente une superficie de 42 millions de m², soit 8,9 % de plus qu'en 2002. Cette croissance se reflète principalement dans le nombre de logements collectifs (2 logements ou plus) qui a progressé de 10,5 %.

Le fait que les importations n'aient pas augmenté en proportion égale s'explique notamment par le délai qui sépare l'obtention du permis de construire de la construction proprement dite il peut en effet s'écouler plusieurs mois entre la délivrance du permis et l'exécution des travaux.

Jusqu'en 1994, les logements collectifs représentaient la majorité des nouvelles constructions mais, à partir de 1995, la tendance s'est inversée si bien qu'aujourd'hui les logements individuels constituent 65 % du total.

Cette hausse est en partie due à une politique gouvernementale permettant de bénéficier d'avantages fiscaux.

Les nouvelles constructions représentent 52 % du marché dépassant ainsi les travaux de rénovation (48 %) - exception faite de l'année 2000 où de fortes tempêtes ont dévasté la France.

Les graphiques suivants montrent l'évolution du nombre de permis délivrés en comparaison avec le nombre de constructions commencées, ainsi que les données relatives à la surface concédée et celle réellement créée.

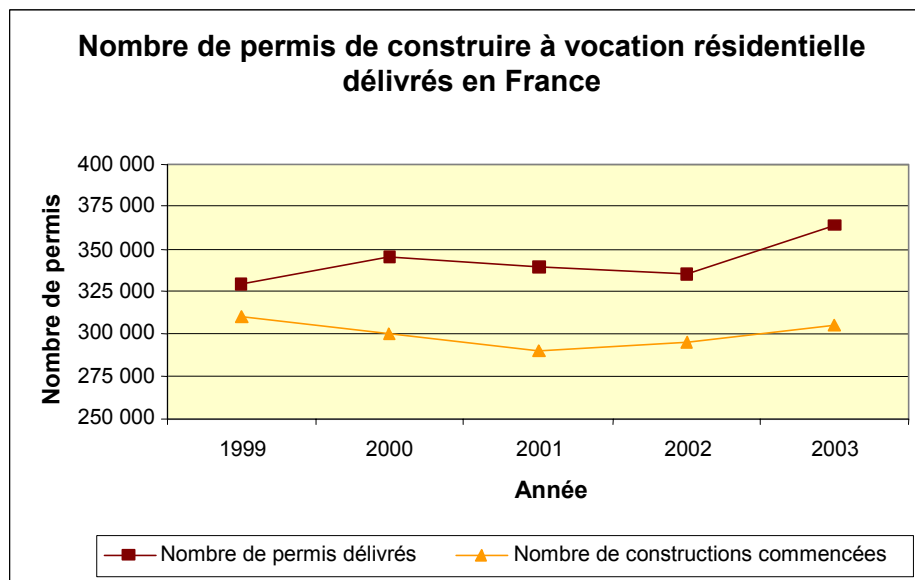


Figure 2.14 : Évolution du nombre de permis de construire à vocation résidentielle délivrés en France

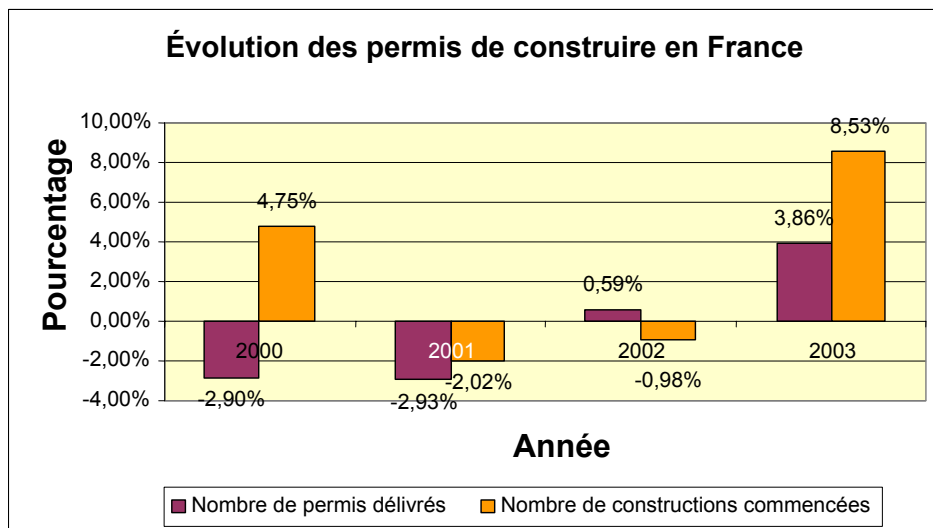


Figure 2.15 : Évolution du nombre de permis de construire délivrés et de constructions commencées à vocation résidentielle

En règle générale, la surface moyenne des logements s'est stabilisée ; seuls les logements individuels ont vu ce chiffre augmenter.

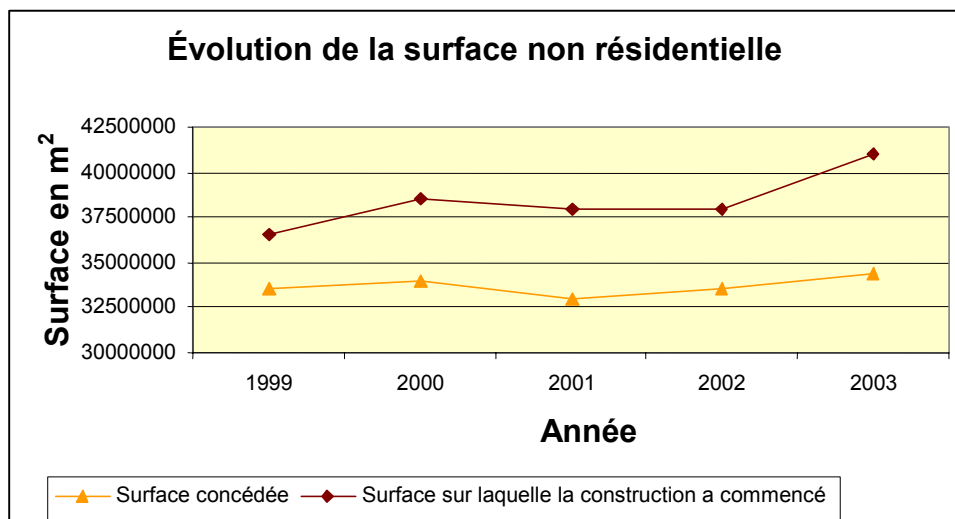


Figure 2.16 : Évolution de la surface concédée et sur laquelle la construction a commencé (en m²)

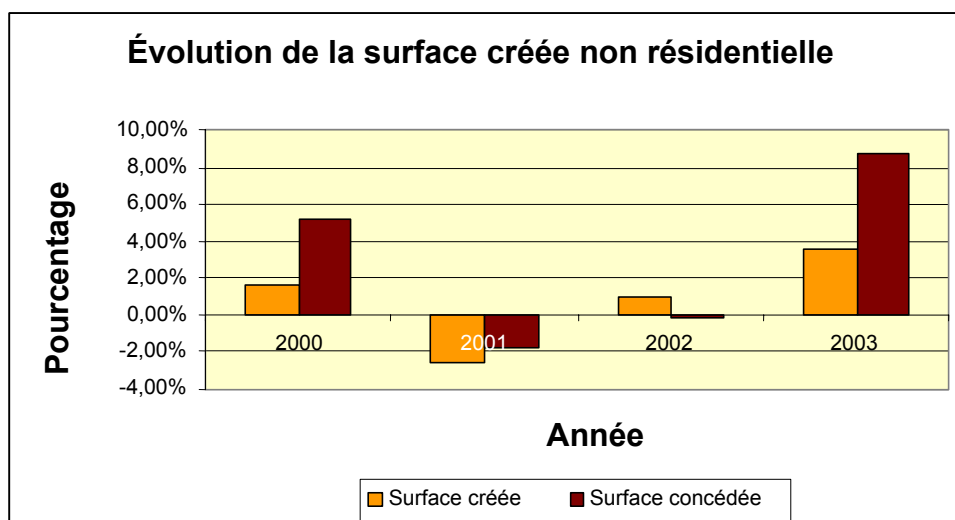


Figure 2.17 : Évolution de la surface non résidentielle créée et concédée (en pourcentage par rapport à l'année précédente)

Pour conclure et selon les informations fournies par la Fédération française de la Construction, le secteur de la construction se voit favorisé par différents facteurs :

1. **Le besoin de logement** : selon les dernières estimations de l'INSEE (Institut national de la statistique et des études économiques), depuis plus de 20 ans, le nombre de logements construits est inférieur au besoin réel.
2. **Le besoin de maintenance, de rénovation et de reconstruction d'immeubles** : les logements sociaux ainsi que les logements en location tombent actuellement en désuétude.
3. **Le besoin d'équiper les secteurs professionnels** : les besoins des entreprises sont élevés car la plupart (entre 50 et 80 %) des gens font appel à des professionnels pour réaliser leurs travaux de maintenance.

2.1.9. Grèce

L'un des aspects les plus remarquables de l'économie grecque réside dans l'importance de la construction dans la valeur ajoutée totale du pays.

Ce secteur représente en effet 7,5 % de la valeur ajoutée totale et affiche une importante croissance depuis ces dernières années.

Le secteur de la construction jouit d'une conjoncture favorable. La décision d'organiser les Jeux olympiques de 2004 à Athènes a relancé la consommation de matériaux de construction dont les produits céramiques constituent une part importante.

La Grèce est un pays où le secteur de la céramique de construction est dominé par l'importation et pour lequel une hausse de la demande est prévue dans les années à venir.

2.1.10. Israël

L'ensemble du secteur industriel (construction incluse) représente 31 % de l'économie du pays. Bien que le gouvernement et les syndicats aient toujours joué un rôle fondamental dans son développement, la situation actuelle est très différente et l'économie est aujourd'hui assez libéralisée.

Trente-sept pour cent de la production provient des petites et moyennes entreprises. Il convient également de souligner l'attention portée à la recherche et au développement technologique dont le niveau relatif de dépense se situe parmi les premiers mondiaux.

Le marché de la céramique en Israël revêt une grande importance avec des importations qui atteignent 87,676 milliards de USD et des exportations considérablement plus faibles de l'ordre de 1,342 milliards de USD. Le pays ne pouvant subvenir à ses besoins avec sa propre production est donc grand consommateur de ces produits.

2.1.11. Italie

Malgré un ralentissement amorcé depuis 2000, le bilan de l'économie italienne de ces dernières années enregistre une croissance dans le secteur de la construction.

Selon les données fournies par l'Association nationale des constructeurs (ANCE), les investissements dans l'industrie de la construction ont atteint les 107,4 milliards d'euros, soit une augmentation de 6,3 % par rapport à l'année précédente.

Pour ce qui est de la construction de logements résidentiels, les investissements se sont établis à 58,433 milliards d'euros en 2002. En comparaison avec les années précédentes, cela représente une hausse de 6,7 % en termes de valeur (inflation comprise) et de 2,5 % en termes de quantité (0,9 % selon l'Istat, Institut national des statistiques) grâce à la dynamique positive enregistrée dans la construction de logements et dans la réhabilitation d'immeubles. Par ailleurs, la demande de HLM a considérablement chuté alors que l'on constate une hausse de la construction privée. Ainsi, selon la Banque centrale italienne (Banca de Italia), les prêts destinés à l'acquisition de logements sont passés de 29,2 milliards d'euros en 2001 à 36,9 milliards d'euros en 2002 (soit une hausse de 26,4 %). En ce qui concerne la rénovation et la restauration de logements, le chiffre est passé de 15,1 milliards en 2001 à 16,3 milliards d'euros en 2002.

Tableau 2.6 : Évolution du secteur de la construction

| ANNÉES | Constructions résidentielles | | | Constructions non résidentielles | | | | |
|--------|------------------------------|----------|-----------------|----------------------------------|---------|-----------------|-----------|-----------------------------------|
| | Nouvelles constructions | | Agrandissements | Nouvelles constructions | | Agrandissements | Logements | |
| | Nombre | Volume | Volume | Nombre | Volume | Volume | Total | Dont constructions résidentielles |
| 1996 | 35 348 | 65 946 | 10 588 | 20 884 | 81 430 | 31 191 | 155 078 | 150 276 |
| 1997 | 32 212 | 60 536 | 9 668 | 17 726 | 63 887 | 27 096 | 144 597 | 140 528 |
| 1998 | 28 455 | 56 268,5 | 9 220 | 16 613 | 67 444 | 29 864 | 136 650 | 132 890 |
| 1999 | 29 705 | 62 080 | 9 434 | 17 089 | 81 616 | 33 718 | 151 652 | 147 397 |
| 2000 | 33 065 | 67 126 | 9 263 | 17 185 | 94 165 | 31 552 | 162 407 | 158 442 |
| 2001 | 32 435 | 68 735 | 8 683 | 16 787 | 100 652 | 33 700 | 167 541 | 163 542 |

Source : ISTAT

Le taux de croissance annuel de la construction est en baisse progressive depuis ces dernières années.

Tableau 2.7 : Taux de croissance annuel de la construction en Italie

| TAUX DE CROISSANCE ANNUEL DE LA CONSTRUCTION EN ITALIE | | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|------|
| | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 |
| Taux de croissance annuel | 5,1 | 5,6 | 4,8 | 1,6 | -0,3 | -1,2 |

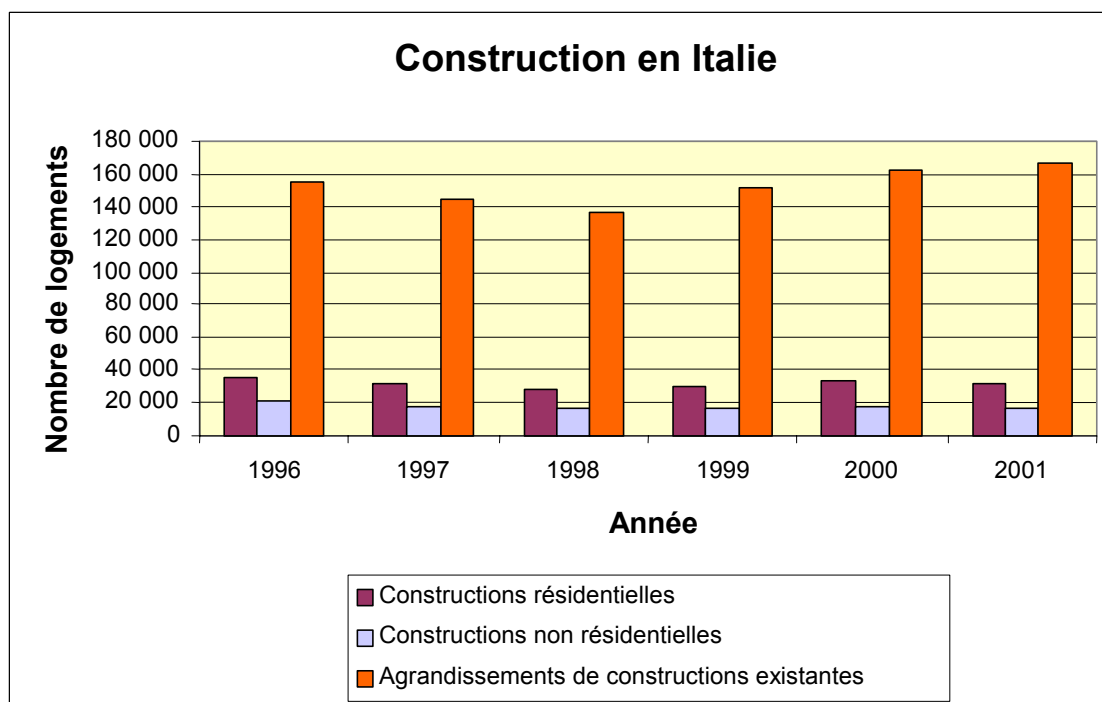


Figure 2.18 : Évolution du nombre de constructions résidentielles, de constructions non résidentielles et d'agrandissements de constructions existantes

L'Italie est le principal producteur mondial de céramique et représente 15,3 % de la production. Cette part a subi une légère diminution de 1995 à 2000. Cependant le volume de production n'a cessé d'augmenter.

Le secteur se trouve actuellement en plein processus de concentration et le nombre de sociétés diminue à travers les fusions, acquisitions et autres accords.

Selon les dernières statistiques, les principaux pays exportateurs en termes de volume sont l'Italie, dont la part mondiale est de 40,8 %, suivie de l'Espagne. Ces deux pays rassemblent 67,2 % des exportations mondiales.

L'Italie enregistre une légère baisse de sa participation au sein du commerce mondial (de 45,7 % en 1994 à 40,8 % en 1999), bien que ses exportations aient augmenté de manière significative (de 324 millions de m² en 1994 à 416 millions en 1999).

Tableau 2.8 : Exportations italiennes de produits céramiques (en millions d'euros)

| PAYS DESTINATAIRE | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | PART ANNÉE 2001 |
|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------------|
| Allemagne | 651 | 589 | 511 | 463 | 16,6 % |
| États-Unis | 349 | 410 | 478 | 462 | 18 % |
| France | 377 | 374 | 358 | 364 | 14,1 % |
| Royaume-Uni | 71 | 70 | 69 | 82 | 3,1 % |
| Autriche | 103 | 93 | 83 | 79 | 3 % |
| Grèce | 89 | 79 | 74 | 76 | 2,9 % |
| Suisse | 68 | 69 | 64 | 70 | 2,7 % |
| Hollande | 68 | 65 | 60 | 61 | 2,3 % |
| Pologne | 78 | 76 | 71 | 61 | 2,3 % |
| Australie | 69 | 64 | 61 | 42 | 1,6 % |
| Reste du monde | 875 | 786 | 788 | 972 | 33,4 % |
| Total | 2 800 | 2 677 | 2 598 | 2 565 | 100 % |

Source : Rapport de la Fondation Exportar

Le nombre de ventes totales du secteur italien de la céramique est en recul à cause de la diminution des ventes sur le territoire, ce qui représente une baisse du marché intérieur de 11,4 %.

Tableau 2.9 : Ventes du secteur

| | 2003 | 2002 | VAR. % |
|---|---------|---------|---------|
| Nombre d'entreprises | 173 | 173 | 0 |
| Ventes totales (M€) | 1 402,4 | 1 452,5 | -3,4 % |
| Ventes en Italie (M€) | 428,5 | 484,0 | -11,5 % |
| % ventes en Italie sur ventes totales | 30,6% | 33,3% | — |
| Ventes à l'étranger (M€) | 974,0 | 968,5 | +0,6 % |
| % ventes à l'étranger sur ventes totales | 69,4% | 66,7% | — |

Au cours de l'année 2002, la production totale a augmenté de 3,5 %, passant à 18,7 millions de tonnes.

En analysant en profondeur l'évolution des produits céramiques de construction, on observe une augmentation de l'utilisation des briques destinées à la maçonnerie et à la construction, ainsi qu'une

hausse de la production de briques creuses utilisées pour les cloisons de l'ordre de 3,1 % par rapport aux dernières années. Ceci a permis une récupération des parts de marché comparativement à d'autres matériaux comme le carton-plâtre. Une augmentation considérable de 9,67 % a également été enregistrée dans la production de matériaux forgés.

Cependant, il convient de signaler que la production de carreaux a chuté de 9,4 %, s'établissant à 600 millions de tonnes.

La production de matériaux de revêtement, qui a enregistré une augmentation globale de seulement 0,08 %, se comporte-t-elle aussi de façon stable.

2.1.12. Liban

La guerre civile de 1975-1991 a sérieusement ébranlé l'industrie et le commerce. À la fin de cette guerre, le gouvernement central a encouragé la reprise des activités. Les petites et moyennes entreprises y sont pour beaucoup dans le redressement économique du pays, toutefois le gouvernement aspire à ce que la reconstruction entraîne des résultats plus conséquents.

L'économie du Liban et les marchés sont en grande partie représentés par le secteur privé qui constitue environ 75 % de la demande globale.

Avant le conflit, le secteur de la construction a toujours revêtu une grande importance. Une part appréciable de l'activité était concentrée à Beyrouth où les besoins de logements de la population urbaine en plein essor devaient être palliés.

Après le conflit, une nouvelle croissance de la construction a été observée. Les projets de construction sont depuis lors financés majoritairement sous forme de participations dans le capital social. Depuis 1991, ce secteur s'est considérablement développé.

Compte tenu de la croissance des activités touristiques, les villes de montagne et les villages situés à proximité de Beyrouth doivent également être approvisionnés en matériaux de construction pour faire face à la demande.

L'industrie et le commerce de la céramique de construction occupent une place notable dans la production industrielle globale. Les exportations de produits céramiques s'élèvent à 6 565 000 de USD et les importations à 59 154 000 de USD.

2.1.13. Libye

L'économie de la Libye est dominée par le secteur des hydrocarbures qui représente 20 à 25 % du PIB, 50 % des recettes publiques et 90 à 95 % des recettes d'exportation. Le deuxième secteur le plus important est celui de la construction (travaux publics et logements).

Le poids du secteur public est énorme au sein de toutes les activités de production. Cependant, les autorités envisagent une réduction de ce secteur et encouragent l'implantation d'entreprises privées ou de coopératives.

Étant donné que l'économie libyenne repose fondamentalement sur les recettes dérivées du pétrole, la chute prononcée des prix du secteur en 1998 a sensiblement affecté son développement économique.

Néanmoins, le secteur de la construction, qui représente 20 % du PIB a progressé, entraînant avec lui les secteurs d'approvisionnement en matériaux dont celui de la céramique.

2.1.14. Malte

L'économie maltaise est principalement tournée vers le tourisme, l'agriculture et les services, avec comme premier partenaire commercial l'Union européenne.

Avec une population de près de 400 000 habitants, Malte dispose d'une capacité de production et d'un marché intérieur et limités. En contrepartie, la situation géographique de l'île lui confère un emplacement stratégique pour le commerce extérieur.

L'avantage concurrentiel de Malte en tant qu'exportateur n'est pas seulement dû à la proximité des grands marchés, mais également à son excellente réputation quant à la qualité de sa production, à la confiance, au travail et aux faibles charges d'exploitation par rapport à l'Europe occidentale.

La réexportation de produits représente 10 % des exportations totales de Malte.

La production de céramique de construction y est très faible.

2.1.15. Maroc

Le secteur industriel marocain est relativement réduit et constitue 30 % du PIB.

Le secteur de la construction et des travaux publics est quant à lui important en termes de main-d'œuvre et de participation au PIB, à savoir 4,9 %.

La céramique de construction représente une partie infime du secteur industriel. Il convient de souligner que la quasi-totalité de la production de céramique du Maroc est consommée au sein même du pays, d'où le besoin d'importer des produits céramiques pour satisfaire la demande intérieure.

Au cours des premiers mois de l'année 2005, le Maroc a réalisé une intervention à caractère protectionniste sur le secteur de la céramique afin de protéger le marché intérieur des importations. Ces dernières proviennent principalement d'Espagne (60 %), qui exporte des produits de meilleure qualité et par conséquent plus chers qu'au Maroc. Il n'y a donc aucune concurrence entre les produits fabriqués dans chacun des deux pays.

Néanmoins, l'augmentation des importations provenant de Chine et les faibles prix pratiqués sur les produits céramiques pourraient représenter une nouvelle concurrence pour les entreprises locales.

2.1.16. Monaco

Située sur la côte méditerranéenne française, Monaco est un endroit réputé dont l'économie repose sur le secteur touristique.

La principauté s'est diversifiée avec succès dans les secteurs des services et de la petite industrie à forte valeur ajoutée et non polluante. L'industrie de la céramique de construction y est inexistante. Tous les matériaux céramiques nécessaires à la construction sont donc importés d'autres pays, principalement du pourtour méditerranéen.

2.1.17. Slovénie

Le secteur industriel slovène est en général bien développé et se concentre géographiquement au nord de Ljubljana. De nombreuses industries slovènes se caractérisent par une histoire remontant à plus de 100 ans. Au sein de la Yougoslavie d'avant-guerre, l'industrie slovène s'est retrouvée face à un marché ouvert à tout type de produit, ce qui a eu pour conséquence la création d'entreprises dites « socialisées » dont certaines faisaient abstraction des critères de rentabilité et de l'efficacité des coûts.

En 1991, après l'indépendance de la Slovénie et suite à l'effondrement de son marché intérieur, certaines compagnies particulièrement coûteuses ont été démantelées ou fermées. Le processus d'adaptation de l'industrie slovène n'est cependant toujours pas terminé.

Avec un marché intérieur qui ne compte que 2 millions d'habitants, la majorité des compagnies se voient obligées d'exporter une grande partie de leur production, mais aussi de vendre leurs produits à d'autres entreprises slovènes ce qui rend le pays vulnérable vis-à-vis de la conjoncture économique qui règne au sein de l'Union européenne, principal marché d'exportation de la Slovénie.

La construction, cible principale de l'industrie du secteur de la céramique, a été prioritaire à l'époque communiste. Reposant sur de nombreuses années d'expérience, ce secteur a acquis un solide savoir-faire aussi bien dans l'édification de logements que dans le génie civil et la construction de sites industriels (centrales nucléaires et thermiques). Les grandes entreprises de construction slovènes ont depuis toujours la coutume de participer à des projets internationaux en Afrique, au Moyen-Orient, en Europe et en Allemagne.

En 2003, la participation du secteur de la construction au PIB s'est élevée à 5,7 %.

2.1.18. Syrie

La Syrie est un pays en voie de développement qui enregistre des recettes modérées. Malgré tout, son économie reste diversifiée.

En 1960, empreint de son idéologie socialiste, le gouvernement a nationalisé la majorité des entreprises importantes et a adopté des politiques économiques conçues pour lutter contre les disparités régionales et de classe. Cet héritage interventionniste rend encore difficile la croissance économique même si le gouvernement a commencé à revoir nombre de ces politiques, tout particulièrement celle relative au régime commercial du pays.

Le commerce a toujours été le fleuron de l'économie syrienne bénéficiant d'une situation géographique incomparable aux abords des itinéraires commerciaux reliant l'Est occidental. Néanmoins, l'industrie du secteur de la céramique est loin d'être l'une des principales sources de revenus du pays donnant plus de poids à l'industrie de la conserve et aux nouvelles industries lourdes.

2.1.19. Tunisie

Dans ce pays, le secteur industriel est en règle générale relativement diversifié et s'est développé à un rythme élevé au cours de la dernière décennie avec une croissance comprise entre 4,5 % et 10 %.

L'industrie tunisienne, principalement orientée vers l'exportation, est composée de nombreuses PME familiales et de grandes entreprises publiques. Même si le poids du secteur public a fortement diminué au cours des dernières années, ces entreprises publiques restent prédominantes dans la construction.

Le développement des investissements industriels relève de la compétence de deux agences publiques spécialisées.

2.1.20. Turquie

La Turquie est un pays qui repose sur une importante base industrielle représentant 25,6 % du PIB. En revanche, le secteur de la construction ne constitue que 3,6 % du PIB.

Le domaine de la construction a toujours été important dans ce pays mais il a fortement été touché par la profonde crise économique de ces dernières années, qui a entraîné une diminution de la part de ce secteur dans le PIB, provoquée par une chute du nombre de projets d'infrastructure et de la demande de logements résidentiels.

Industrie importante de la Turquie, la construction affiche une vocation internationale croissante.

Le poids du secteur public au sein des domaines stratégiques de l'économie turque est encore considérable. Un programme de privatisations relativement ambitieux, visant de grandes entreprises d'État, est en cours de développement. De nombreux progrès ont été réalisés mais un retard sur les prévisions explique le fait que certaines entreprises n'aient toujours pas été privatisées.

2.2. CARACTÉRISTIQUES DU SECTEUR

2.2.1. Matières premières utilisées

La principale matière première du processus de fabrication de la céramique est l'argile. L'élaboration de matériaux céramiques destinés à la construction fait appel à une grande variété de ces roches qui diffèrent par leur composition chimique affectant directement les propriétés physico-chimiques des produits obtenus ainsi que les émissions générées tout au long du processus.

De nombreuses entreprises du secteur sont propriétaires d'une carrière où elles procèdent à l'extraction de l'argile souhaitée. Les techniques utilisées en production dépendent donc de la composition de la matière première.

En tant que roche industrielle, l'argile ordinaire est imbibée d'eau et se transforme en une pâte dont la plasticité est la propriété la plus importante, permettant la plupart du temps de définir ses emplois possibles. D'autre part, la teneur en fer, titane et manganèse détermine la couleur de l'argile cuite.

Les autres propriétés à prendre en compte sont la résistance mécanique à l'état brut, la température de sintérisation et la contraction lors du séchage et pendant la cuisson.

En considérant ces caractéristiques, les trois classes d'argiles les plus employées dans la fabrication de céramique de construction sont les kaolinites, les illites et les montmorillonites ou smectites.

2.2.1.1. Argiles kaoliniques (blanches)

La taille des cristaux de kaolinite est sensiblement plus grande que celle des argiles faisant partie des autres classes. Compte tenu de cette granulométrie, les argiles kaoliniques se caractérisent par une plasticité relativement faible mais sèchent rapidement et sans problème grâce à leur forte porosité à sec. Ce type de porosité est également la cause de sa faible résistance mécanique à la flexion à sec comprise entre 10 et 30 kg/m².

Lorsque la teneur en oxyde de fer de l'argile est faible, celle-ci présente une couleur blanc jaunâtre après cuisson. En revanche, si la teneur en Fe₂O₃ est élevée, la cuisson lui confère une couleur rouge.

À cause de leur faible teneur en bases alcalines, K₂O et Na₂O, ces argiles requièrent une température de cuisson plus élevée pouvant atteindre les 1 200 °C.

2.2.1.2. Argiles montmorillonitiques ou smectiques

En règle générale, l'utilisation de ce type d'argile requiert une humidité de moulage élevée ainsi qu'un séchage long et problématique. En revanche, sa résistance mécanique à sec est importante.

Les argiles montmorillonitiques ou smectiques ont tendance à se réhydrater, une caractéristique qui complique l'élimination des dernières traces d'humidité lors du séchage. En revanche, ce type d'argile possède une finesse granulométrique incroyable (de l'ordre de 0,5 micron).

Par ailleurs, le principal avantage de ce type d'argile réside dans sa température de vitrification relativement faible (entre 800 et 900 °C) : Le produit fini obtenu est un matériau de couleur rouge de faible porosité et possédant une forte résistance mécanique.

2.2.1.3. Argiles illitiques

Les illites présentent un comportement intermédiaire entre la kaolinite et la montmorillonite. Elles sont considérées comme le point d'équilibre pour la majorité des caractéristiques. En règle générale, elles ne présentent aucun problème de séchage et leur résistance mécanique à la flexion à l'état sec oscille entre 40 et 60 kg/cm², ce qui offre un excellent maniement des pièces sèches sans risque de rupture. Pendant la cuisson, cette argile se caractérise par une vitrification relativement rapide à partir de 800 °C liée à sa forte teneur en K₂O.



Photo 2.1 : Argile utilisée dans le processus de fabrication de produits céramiques

2.2.2. Produits adjuvants

Dans certaines entreprises du secteur, l'argile broyée est habituellement mélangée à différents adjuvants en fonction des exigences de qualité du produit fini. Les adjuvants les plus utilisés sont :

- Le sable
- Le carbonate de baryum
- La chamotte
- Le marc d'olives
- Le carbonate de calcium micronisé
- Le polystyrène

Ces produits sont généralement ajoutés lors du broyage de l'argile car ils permettent d'obtenir un mélange total dont la taille des granulats est homogène.

2.2.3. Principaux combustibles utilisés

Au sein des pays méditerranéens, une grande variété de combustibles est utilisée pour la fabrication de produits céramiques dans les différentes phases du processus. Ce choix repose sur plusieurs facteurs tels que le prix, le rendement énergétique et environnemental, la disponibilité, etc.

Le chapitre 6 de ce manuel présente l'analyse des caractéristiques chimiques des combustibles mentionnés ci-dessous, accompagnée des principaux avantages et inconvénients relatifs à l'emploi de chacun d'entre eux.

Les combustibles les plus utilisés dans le secteur sont énumérés ci-après.

2.2.3.1. Gaz naturel

Actuellement, il s'agit de l'un des combustibles le plus utilisé dans le secteur de la céramique de construction au sein des pays de la Méditerranée qui possèdent les infrastructures nécessaires à son transport. Le gaz naturel extrait des gisements peut être directement acheminé sur les lieux de consommation par le biais de conduites de gaz appelées gazoducs ou bien, lorsqu'il s'agit de longues distances, au moyen de navires méthaniers qui le transportent à l'état liquide, ou par des camions-citernes dans lesquels le gaz se trouve à basse température.

Dans l'industrie de la céramique, le principal inconvénient de ce combustible réside dans sa distribution par canalisation qui rend son utilisation très difficile dans les zones ne bénéficiant pas des infrastructures nécessaires.

Dans le processus de fabrication de produits céramiques, le gaz naturel est aussi bien employé dans les fours de cuisson que dans les séchoirs.

En règle générale, les brûleurs à gaz naturel placés dans les fours sont de type vertical et sont répartis sur deux rangées de buses. Ces brûleurs se caractérisent par une vitesse élevée qui génère un courant tourbillonnaire d'air chaud à l'intérieur du four, permettant d'homogénéiser la température quelle que soit la hauteur du four et d'éliminer le risque de rupture en phase de préchauffage.

En outre, grâce à une distribution uniforme de la chaleur, son utilisation est idéale pour la zone de préparation, point le plus critique du cycle de cuisson.

2.2.3.2. Coke de pétrole

Il s'agit d'un sous-produit solide provenant de la distillation du pétrole. Son emploi en tant que combustible dans le secteur de la céramique progresse de façon rapide grâce notamment à deux facteurs : son prix et son efficacité énergétique. Dans les fours de cuisson, le coke de pétrole peut être utilisé en tant qu'unique combustible ou bien mélangé à d'autres (gaz naturel mais aussi fioul), cette dernière solution offrant les meilleurs résultats. Il est aussi employé pour le mélange des argiles.



Photo 2.2 : Four à céramique équipé de brûleurs à alimentation mixte fioul/coke micronisé

Les premiers producteurs mondiaux de coke de pétrole sont les États-Unis. En Espagne, la consommation de ce combustible a débuté il y a 25 ans, en remplacement du charbon. De ce fait, l'Espagne est aujourd'hui le deuxième pays consommateur après les États-Unis, même si l'utilisation de ce produit gagne du terrain dans d'autres pays comme le Maroc.

Communément employé pour la fabrication du ciment, le coke de pétrole est également consommé en tant que combustible dans d'autres pays de la Méditerranée comme la France, l'Italie, le Maroc ou encore la Tunisie.

Coke micronisé

Le coke micronisé est né de la recherche de combustibles plus efficaces pour le secteur. À travers une opération de broyage industriel, on parvient à diminuer la taille moyenne des particules en obtenant des dimensions inférieures à 90 microns pour 90 % d'entre elles, ce qui confère au produit les avantages suivants par rapport au coke de pétrole ordinaire :

- Élimination de l'humidité du produit (inférieure à 0,5 % en règle générale)
- Granulométrie plus homogène offrant un meilleur contrôle du four
- PCI plus important (POUVOIR CALORIFIQUE INFÉRIEUR)

L'utilisation du coke micronisé est relativement récente et remonte plus ou moins à l'année 2000. L'Espagne est le seul pays qui consomme ce produit dans le secteur de la céramique (environ 10 %) même si, au vu de ses avantages par rapport au coke de pétrole ordinaire, son emploi est en plein essor dans d'autres pays.

2.2.3.3. Fioul

Le fioul est un liquide visqueux et de couleur noire utilisé pour le chauffage et dans les fours industriels. Son point d'éclair élevé rend difficile le maintien de sa combustion, d'où le besoin de recourir à un préchauffage. De plus, lorsque les conditions de combustion ne sont pas appropriées, des émissions de gaz noirs à haute charge polluante sont générées.

Le fioul est le combustible liquide le plus économique.

L'utilisation du fioul dans le secteur de la céramique a tendance à diminuer dû à sa complexité d'emploi et à son faible rendement économique, même si certains pays méditerranéens font encore appel à ce combustible dans leurs processus.

Le fioul est généralement utilisé dans les fours de cuisson.

2.2.3.4. Charbon

Les types de charbon les plus usités dans le secteur sont les houilles et les semi-anthracites. Certains pays utilisent encore ce combustible même si son rendement énergétique et ses caractéristiques environnementales entraînent inéluctablement son déclin progressif. Il est consommé dans les fours de cuisson.

2.2.3.5. Biomasse

Il s'agit d'un produit à forte demande dans le secteur en raison des avantages environnementaux qu'il présente face aux combustibles fossiles. En effet, pour les pays ayant signé l'accord-cadre sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre, le facteur d'émission de la biomasse est nul et, par conséquent, les émissions de CO₂ sont neutres, ce qui s'est traduit par une augmentation progressive de la demande accompagnée d'une hausse des prix.

Le prix élevé de la biomasse et sa disponibilité fluctuante rendent son emploi très irrégulier dans le secteur.

La biomasse est habituellement utilisée en tant que combustible dans les séchoirs mais aussi pour le mélange des argiles.

Les types de biomasse les plus répandus dans le secteur de la céramique de construction des pays de la Méditerranée sont :

- Le marc d'olives
- Le marc de raisins
- Les coques de fruit sec

Par ailleurs, il convient de souligner que des études sont en cours de réalisation sur la recherche d'alternatives en relation avec la valorisation de sous-produits pouvant être utilisés seuls ou mélangés dans le processus de fabrication de produits céramiques destinés à la construction. À titre d'exemple, nous pouvons citer, entre autres, les boues provenant des stations d'épuration, les déchets ménagers ou la biomasse forestière.

2.2.4. Diagramme de flux

Le graphique suivant représente le diagramme de flux du processus de fabrication de produits céramiques de construction. Les flux circulant en entrée et en sortie sont respectivement indiqués dans les cadres situés à droite et à gauche. Le processus est quant à lui représenté dans le cadre du centre. La description détaillée de chacune de ces sections se trouve dans le chapitre 4 de ce manuel.

En outre, les aspects environnementaux associés comme les consommations et l'impact sur l'environnement sont également représentés.

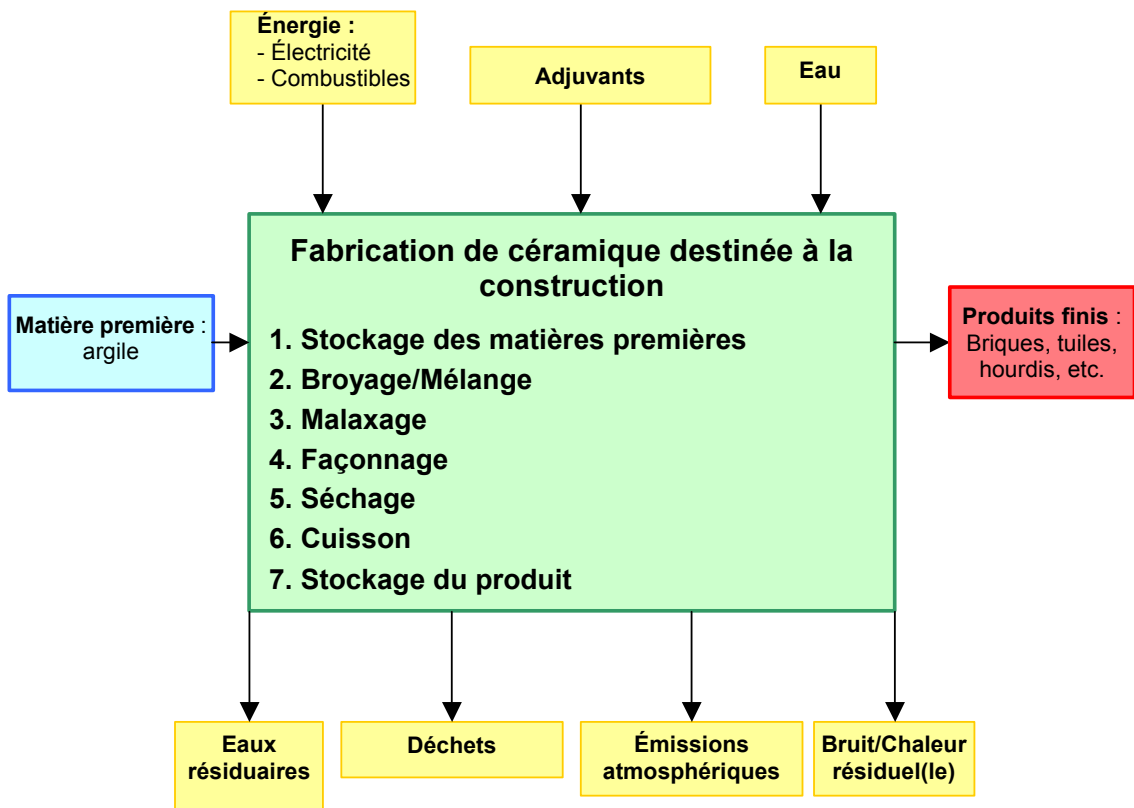


Figure 2.19 : Diagramme de flux de la fabrication de produits céramiques

3. PHASES D'ÉLABORATION DES PRODUITS CÉRAMIQUES

Ce chapitre décrit les différentes opérations de production nécessaires à la fabrication de la céramique de construction, les technologies appliquées ainsi que les aspects et impacts environnementaux dérivés.

Dans chaque section, trois aspects différents sont analysés :

- a. Explication de l'**opération**
- b. **Technologies associées**
- c. Diagramme représentant les flux circulant en entrée et en sortie d'opération ainsi que les **aspects environnementaux**

La structure générale des diagrammes de flux représentés pour chaque opération est la suivante :

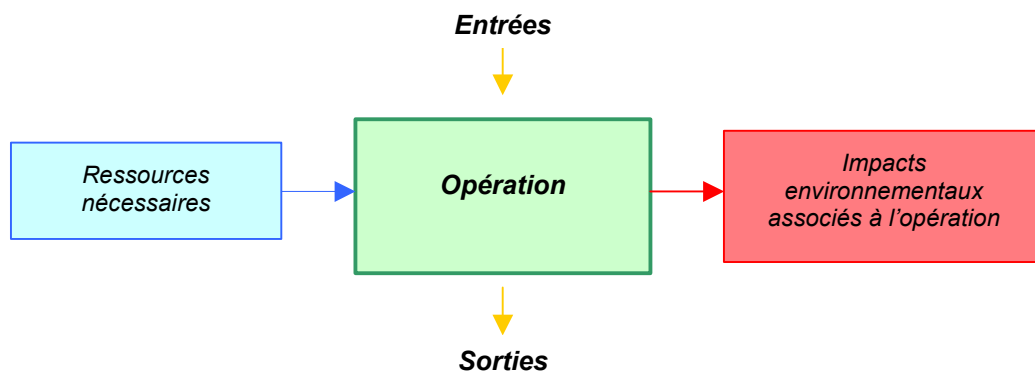


Figure 3.1 : Structure générale du diagramme de flux d'une opération

La fin du chapitre comprend un tableau récapitulatif des opérations prises en compte et de leurs impacts environnementaux. En outre, une évaluation qualitative de chacune de ces opérations est réalisée en fonction de leur importance relative par rapport au processus global de production.

Des critères d'évaluation sur trois niveaux d'importance (A, B, C) et dont voici la signification ont été fixés :

Tableau 3.1 : Critères d'évaluation des aspects environnementaux

| | |
|-----------------|---|
| Niveau A | Aspect à impact environnemental très significatif |
| Niveau B | Aspect à impact environnemental modéré |
| Niveau C | Aspect à impact environnemental peu significatif |

Cette estimation est donnée à titre indicatif et chaque cas particulier devra être examiné en fonction de la technologie utilisée par l'entreprise et du processus.

Ces critères seront maintenus pour les différentes évaluations effectuées dans ce manuel.

3.1. SCHÉMA GÉNÉRAL

Le processus de fabrication de la céramique de construction est différent dans chaque entreprise en fonction des paramètres indiqués précédemment dans cet ouvrage. Le schéma ci-dessous correspond au processus le plus généralement employé. Il contient l'ensemble des opérations impliquées et identifie les impacts environnementaux associés à chacune d'entre elles.

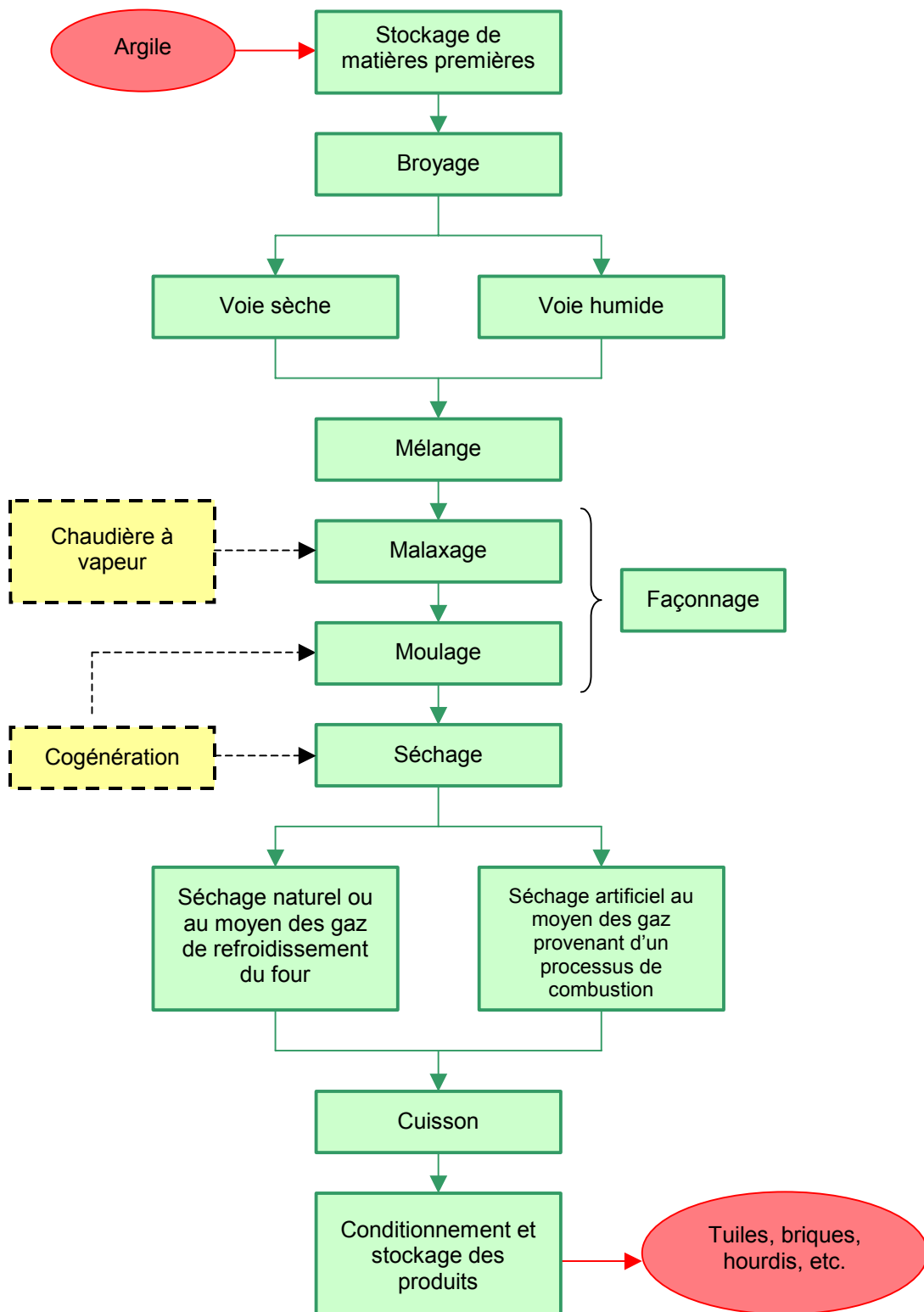


Figure 3.2 : Processus de fabrication de matériaux céramiques de construction

3.2. RÉCEPTION ET STOCKAGE DES MATIÈRES PREMIÈRES

a. Opération

La majorité des entreprises du secteur de la céramique s'approvisionnent en matière première dans les carrières (dont elles sont propriétaires ou non) situées à proximité du site de production. Cette argile non traitée est transportée par camions jusqu'au lieu de déchargement puis stockée en vue d'une utilisation ultérieure.

b. Technologies associées

Le stockage peut se faire à ciel ouvert, en entrepôt ou bien au sein d'une **trémie de stockage**

Cette trémie est formée par un réceptacle conçu pour stocker l'argile provenant directement de la carrière. Elle est généralement fabriquée en tôle d'acier résistant à l'usure et est dotée d'une capacité suffisante pour alimenter le site durant plusieurs heures.



Photo 3.1 : Stockage mixte des matières premières à ciel ouvert et en entrepôt

c. Aspects environnementaux

La manipulation de l'argile sèche lors de l'opération de chargement/déchargement des camions et du remplissage de la trémie de stockage entraîne fréquemment l'émission de particules (PM_{10}) dans l'air. Des quantités d'émissions variables viendront s'ajouter à celles générées lors de la manipulation selon le type de stockage choisi.

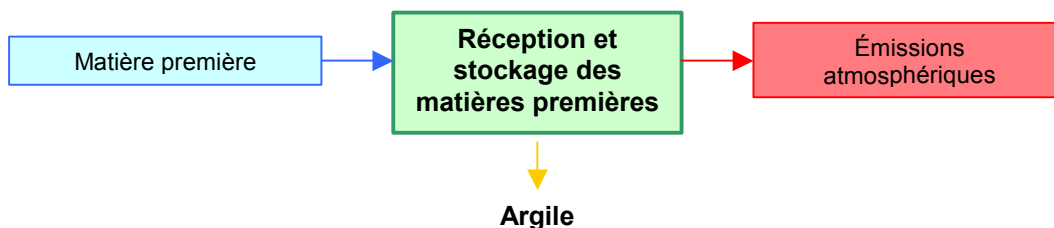


Figure 3.3 : Aspects environnementaux de la réception et du stockage des matières premières

Transport de la matière première au sein du site

Le transport des argiles au sein du site se fait par le biais de convoyeurs dont la bande peut être en acier, en caoutchouc ou à écailles.

Généralement, les convoyeurs à lames d'acier sont utilisés sur des tronçons horizontaux et rectilignes de long cheminement. Ils résistent plus facilement aux coups mais sont très rarement utilisés dans l'industrie de la céramique en raison de leur prix élevé.

Pour les tronçons rectilignes et moyennement inclinés, on utilise des convoyeurs à bande de caoutchouc qui offrent une meilleure adhérence du matériau et empêchent tout éboulement.

Enfin, les convoyeurs à écailles moins rapides que ceux en caoutchouc sont utilisés pour le transport de lourdes charges au niveau des courbes ou des pentes prononcées.

Les argiles à forte plasticité et excessivement humides peuvent présenter des problèmes d'adhérence sur les convoyeurs à bande. Le nettoyage de ces installations après le déchargement est donc très important car l'argile adhérente se sèche et ne peut se décoller de la bande.



Photo 3.2 : Transport de l'argile au sein du site par le biais de convoyeurs à bande en caoutchouc

Il convient de souligner que les émissions de particules dans l'air et les éboulements de matière première susceptibles de survenir lors du transport des argiles au sein du site peuvent être transformés en déchets par la suite.

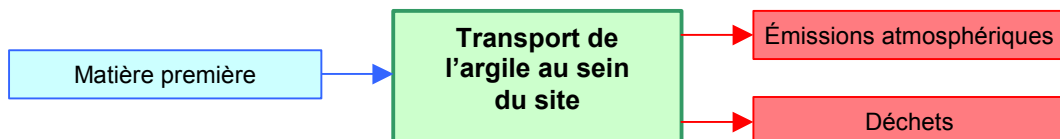


Figure 3.4 : Aspects environnementaux du transport d'argile au sein du site

3.3. BROYAGE

a. Opération

Le broyage se résume au concassage de l'argile brute provenant directement de la carrière en vue d'obtenir une matière première possédant une granulométrie et une texture parfaites pour le façonnage ultérieur des produits. Le broyage peut être mené à bien selon deux méthodes différentes : par voie sèche ou par voie semi-humide.

Les argiles sèches et dures se préparent plus facilement sur des installations en **voie sèche**. Ce type de système garantit l'obtention d'un pourcentage important de particules fines plus facilement et plus rapidement mouillables, permettant ainsi de bénéficier d'une pâte très homogène à plasticité élevée. Ceci conduit à un meilleur finissage et une résistance mécanique accrue, aussi bien sur le matériau sec que sur le produit cuit.

À l'opposé, cette opération peut également être réalisée par **voie semi-humide**. L'humidification de l'argile peut alors commencer directement sur le lit d'homogénéisation. Dans ces conditions, l'eau se lie fortement au cristal argileux ce qui accroît la plasticité et la cohésion de la pâte argileuse et augmente la résistance aux contraintes de séchage de cette dernière.

Mélange

Dans certaines entreprises, l'argile broyée peut être mélangée à différents adjuvants en fonction des exigences de qualité du produit fini. Les adjuvants les plus utilisés sont :

- Le sable
- Le carbonate de baryum
- La chamotte
- Le marc
- Le carbonate de calcium micronisé
- Le polystyrène
- Le coke de pétrole

b. Technologies associées

Il existe de nombreux types de machines industrielles permettant de mener à bien le broyage en fonction du résultat recherché.

Pour le concassage de l'argile par voie semi-humide, il est possible de recourir à un **broyeur à marteaux ou à meules**. Ce dispositif est composé d'un bâti en acier entièrement mécanosoudé. Les porte-roulements à axe vertical sont soutenus au centre et les pistes de broyage ainsi que la grille sont encastrées en périphérie. La machine est alimentée en son centre et dispose d'un racleur pivotant qui entraîne le matériau sec et d'un autre racleur qui le dépose sur la piste extérieure des grilles afin que le rouleau extérieur puisse terminer le broyage.

Si le broyage se fait en carrière ou dans la mine, on utilise une **émietteuse** qui permet de traiter aussi bien les minéraux secs que ceux renfermant une humidité maximum de 20 %. Ce type de machine procède au déchetage primaire de tout type de matériau non ferreux affichant une dureté Mohs maximum de 4 et pouvant contenir des quantités limitées de pierres dures pouvant aller jusqu'à 5 Mohs.



Photo 3.3 : Broyage en voie sèche



Photo 3.4 : Broyage en voie semi-humide

Pour le mélange, on utilise aussi un **grattoir rotatif de distribution** permettant l'obtention d'un mélange parfait entre les adjuvants et l'argile.

Il est principalement composé d'une cuve cylindrique à cribles, d'un axe vertical équipé d'un racleur à deux bras et d'un bras d'émiettage placé en amont. La pâte mélangée évacuée à travers les cribles est déposée sur un plateau collecteur qui tourne en sens inverse par rapport à l'axe vertical, optimisant davantage le mélange.

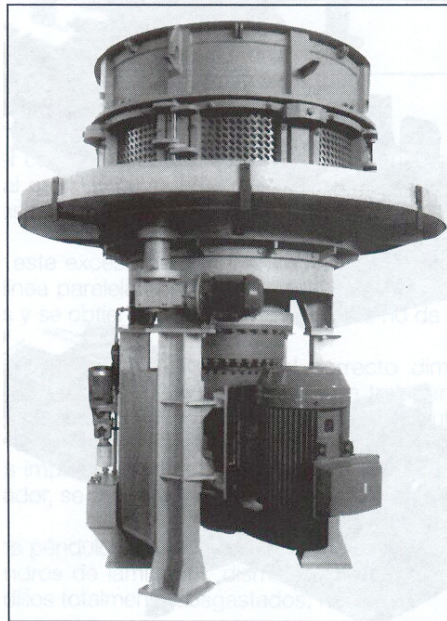


Photo 3.5 : Grattoir rotatif de distribution

c. Aspects environnementaux

Les machines utilisées au cours du broyage sont alimentées à l'énergie électrique. L'argile sèche ou semi-humide est introduite directement dans le broyeur (de type différent suivant les caractéristiques de la matière première) pour être émiétée au moyen des mécanismes détaillés ci-dessus. Cette opération entraîne généralement des émissions de particules dans l'air et du bruit.

En outre, certains adjuvants peuvent être ajoutés après le broyage de la matière première en vue d'obtenir des qualités différentes de produit fini. Cet ajout requiert lui aussi un mélange afin d'homogénéiser le produit.

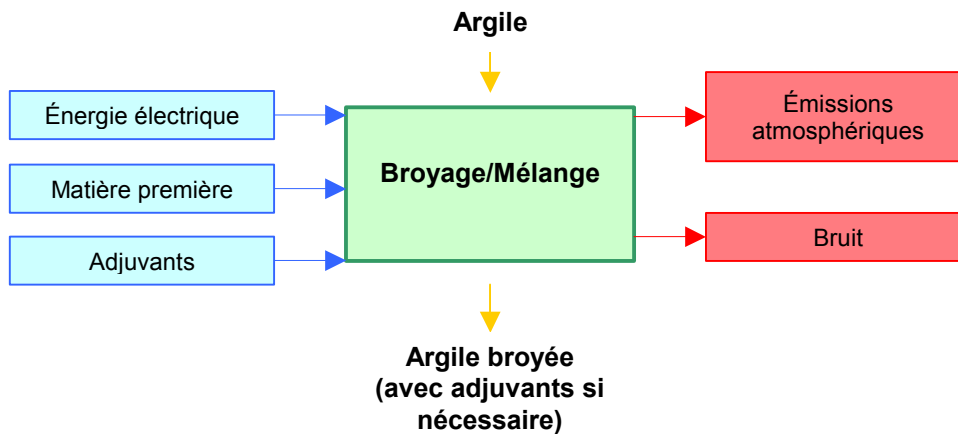


Figure 3.5 : Aspects environnementaux liés au broyage

3.4. FAÇONNAGE

3.4.1. Malaxage

a. Opération

L'argile doit être suffisamment humide (valeur comprise entre 12 et 15 %) pour obtenir un produit souple et malléable. Le malaxage permet d'optimiser la teneur en eau du mélange d'argile par adjonction d'eau ou de vapeur (la vapeur peut provenir d'une chaudière auxiliaire).

b. Technologies associées

Pour le malaxage de l'argile, les fabriques de céramique de construction font appel à des **malaxeurs**, machines spécialement conçues pour homogénéiser le mélange d'argile et y incorporer de l'eau, des colorants ou des adjuvants.

La machine est composée d'un châssis autoportant, d'une cuve de malaxage et de pales. En entrant en rotation, ces dernières permettent à l'argile, à l'eau et aux adjuvants de former une pâte homogène possédant une plasticité adéquate.



Photo 3.6 : Malaxeur

c. Aspects environnementaux

Le malaxage entraîne une consommation d'énergie électrique due au fonctionnement de la machine. En outre, le taux d'humidité requis peut être obtenu par le biais de deux méthodes : par adjonction directe d'eau dans la pâte ou grâce à la vapeur produite par une chaudière auxiliaire. Cette dernière méthode génère des émissions atmosphériques supplémentaires liés à la combustion de la chaudière et au type de combustible employé.

Par ailleurs, le fonctionnement de la machine est relativement bruyant, même si celui-ci est de moindre importance par rapport au broyage.

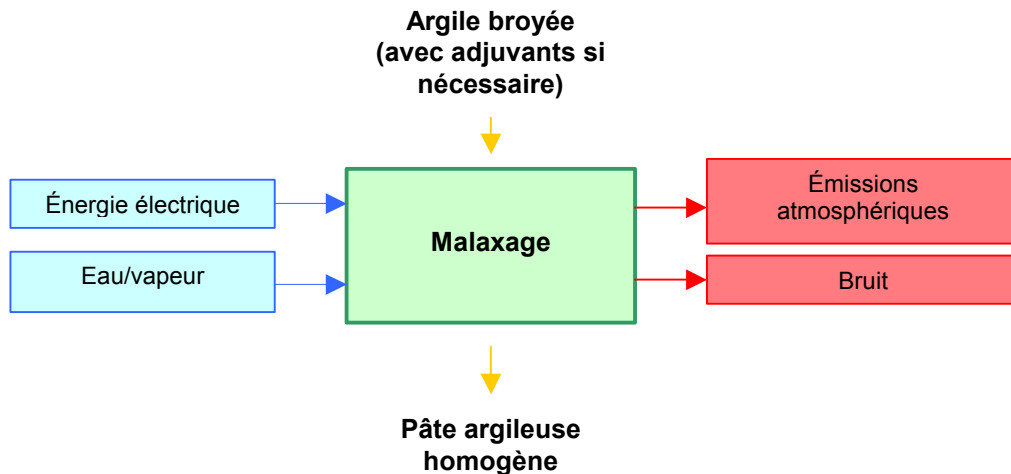


Figure 3.6 : Aspects environnementaux liés au malaxage

3.4.2. Moulage

a. Opération

Le moulage diffère en fonction du matériau à fabriquer. En ce qui concerne les briques, les hourdis et les blocs, cette opération est réalisée par extrusion alors que les tuiles, impliquent également une étape de pressage.

Lors de l'extrusion, la pâte d'argile humidifiée passe à travers un moule perforé poussé par une hélice. L'argile extrudée prend la forme du moule qui peut être changé en fonction du type de pièce recherché.

Le moulage par pressage est précédé d'une phase d'extrusion qui permet l'obtention d'un « biscuit » ou d'un gâteau humide dont est rempli un moule, et qui passe ensuite par une presse chargée de comprimer la pâte afin de former la tuile.

L'effet du pressage et de l'extrudage se traduit par une meilleure absorption de l'eau par l'argile, ce qui permet l'obtention d'une pâte très homogène. La boue est moins collante et peut donc être stockée plus facilement en silo.

b. Technologies associées

Le **groupe de pompage-boudineuse** est une machine spécialement conçue pour le moulage des argiles. Elle se décompose en deux parties : la zone de vide pourvue de portes latérales et de pales servant à l'introduction de la boue, et la zone de moulage composée d'une extrudeuse, ou boudineuse, équipée d'un moule qui donne la forme souhaitée au biscuit ou à la pâte.

La figure suivante représente le schéma d'une boudineuse à rouleaux permettant de créer le vide et dans laquelle le flux d'argile malaxée est continu.

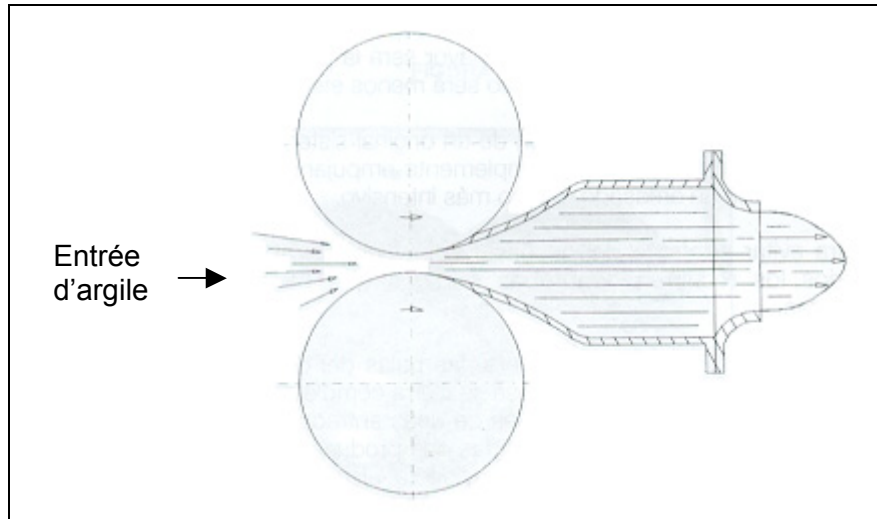


Figure 3.7 : Boudineuse à rouleaux



Photo 3.7 : Extrudeuse

c. Aspects environnementaux

Comme dans les cas précédents, la machine chargée du moulage consomme de l'énergie électrique lors de son fonctionnement et peut générer du bruit (peu significatif en règle générale). Par ailleurs, le moulage constitue une source éventuelle de déchets inertes. Il s'agit plus concrètement de produits défectueux inexploitable pour l'opération suivante et directement mis de côté.

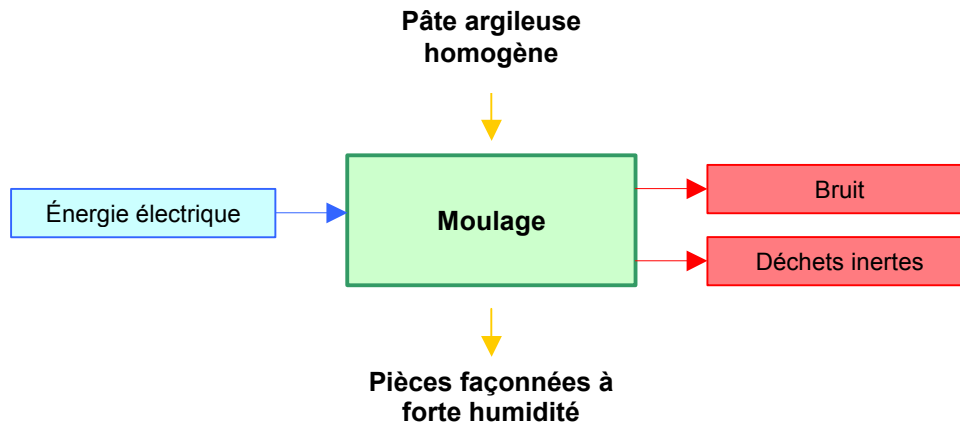


Figure 3.8 : Aspects environnementaux liés au moulage

3.5. SÉCHAGE

a. Opération

L'objectif du séchage est de réduire le taux d'humidité des pièces avant leur cuisson. Il s'agit d'une opération complexe qui dépend de multiples facteurs : nature de l'argile, préparation et degré d'homogénéisation, tensions pouvant survenir lors du moulage, conception et format de la pièce, uniformité et irrégularité du séchage, etc.

Le type de séchage effectué aura une influence sur la résistance et la qualité finale de la pièce après cuisson.

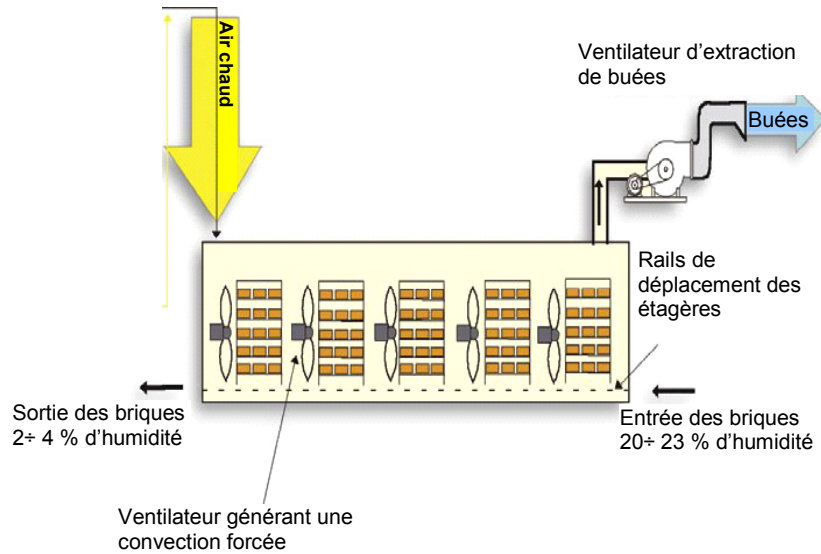
Il peut être réalisé suivant deux méthodes différentes : naturelle ou artificielle.

Pour le **séchage naturel**, le produit est entreposé dans un hangar ou à ciel ouvert afin de faire chuter son taux d'humidité jusqu'à atteindre le niveau optimal avant son introduction dans le four.

Le **séchage artificiel** fait appel à des sources de chaleur de différentes origines. En général, on met à profit les gaz de refroidissement du four de cuisson (par conséquent, aucune émission supplémentaire n'est générée). Le secteur utilise également des chaudières de cogénération pour le séchage des pièces (cf. point 3.8.1 contenant l'analyse de ce type de technologie).

Les gaz provenant des brûleurs (faisant appel à différents types de combustibles) constituent une source de chaleur possible pour l'opération de séchage. La combustion réchauffe l'air du séchoir uniformément réparti par le biais de ventilateurs.

Le produit introduit dans le séchoir contient un fort taux d'humidité et, grâce à la recirculation de grandes quantités d'air sec réchauffé (entre 90 et 110 °C), la teneur en eau est ramenée à un niveau proche de 2 %. Ce taux d'humidité permet alors l'introduction du produit dans le four.



Source : Gouvernement d'Andalousie

Figure 3.9 : Schéma d'un séchoir à briques

b. Technologies associées

Séchoir : Machine destinée à la diminution du taux d'humidité des pièces céramiques fabriquées. Elle est composée de deux parties :

1. Chambre généralement construite en briques réfractaires
2. Installations
 - SYSTÈME DE CALORIFUGEAGE pour l'introduction d'air chaud provenant de différentes sources
 - SYSTÈME DE BRASSAGE D'AIR : ventilateurs de tailles et de puissances variées qui brassent l'air de manière que la circulation soit la plus homogène possible dans toute la chambre

Dans certains processus, on utilise une **empileuse-déempileuse à wagonnets**. Il s'agit d'une machine conçue pour le déchargement des chariots provenant du séchoir et pour la dépose et la constitution des paquets de céramique sur les wagonnets qui seront introduits dans le four.



Photo 3.8 : Ventilateurs destinés au brassage de l'air à l'intérieur du séchoir

c. Aspects environnementaux

Au cours du séchage, la consommation et les émissions générées dépendent du type de séchoir utilisé. Pour le séchage naturel, le produit broyé est entreposé dans un hangar ou à ciel ouvert afin de faire chuter son taux d'humidité jusqu'à atteindre le niveau optimal avant son introduction dans le four. Il est assez fréquent de recourir à des ventilateurs permettant de brasser l'air et d'obtenir ainsi un séchage des pièces plus uniforme. Le cas échéant, ce type de système entraîne une consommation d'électricité.

En revanche, les installations équipées d'un séchoir artificiel consomment du combustible en vue de produire de la chaleur, ce qui entraîne des émissions atmosphériques générées par la combustion et dont la composition varie en fonction de la nature du combustible employé.

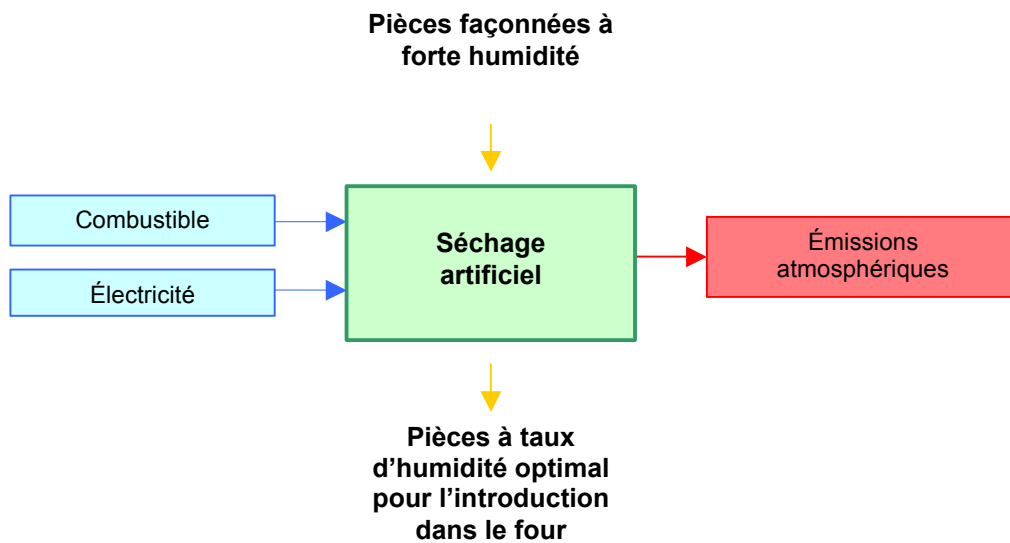


Figure 3.10 : Aspects environnementaux liés au séchage

3.6. CUISSON

a. Opération

La cuisson est la phase la plus importante et la plus délicate du processus de fabrication de produits céramiques. Cette opération confère à la pièce les propriétés voulues et permet de vérifier la réalisation correcte des phases précédentes (malaxage, moulage et séchage). Les pièces sont cuites dans les fours à une température comprise entre 875 °C et un peu plus de 1 000 °C.

Les deux types de fours les plus usités pour la cuisson sont décrits ci-après.

b. Technologies associées

1. Four tunnel

Le principe du four tunnel repose sur la présence d'une zone à feu fixe dans laquelle se déplacent les pièces à cuire. Le produit est déposé sur les wagonnets auxquels nous avons déjà fait référence et qui sont acheminés le long du tunnel.

Ces fours sont composés d'une longue galerie où circule une série de wagonnets sur des rails. La structure inférieure des wagonnets présente un revêtement épais en matériau isolant et réfractaire et est munie d'une butée qui coulisse dans la rainure correspondante encastrée dans les parois du four. Une plaque glissant sur du sable est installée dans l'angle inférieur afin de garantir une meilleure étanchéité. Pour protéger les roues de la chaleur, il est possible de projeter de l'air froid sous les wagonnets tout au long des rails. Les wagonnets sont attachés les uns aux autres sans aucun espace intermédiaire et sont poussés dans le tunnel au moyen d'un dispositif particulier.

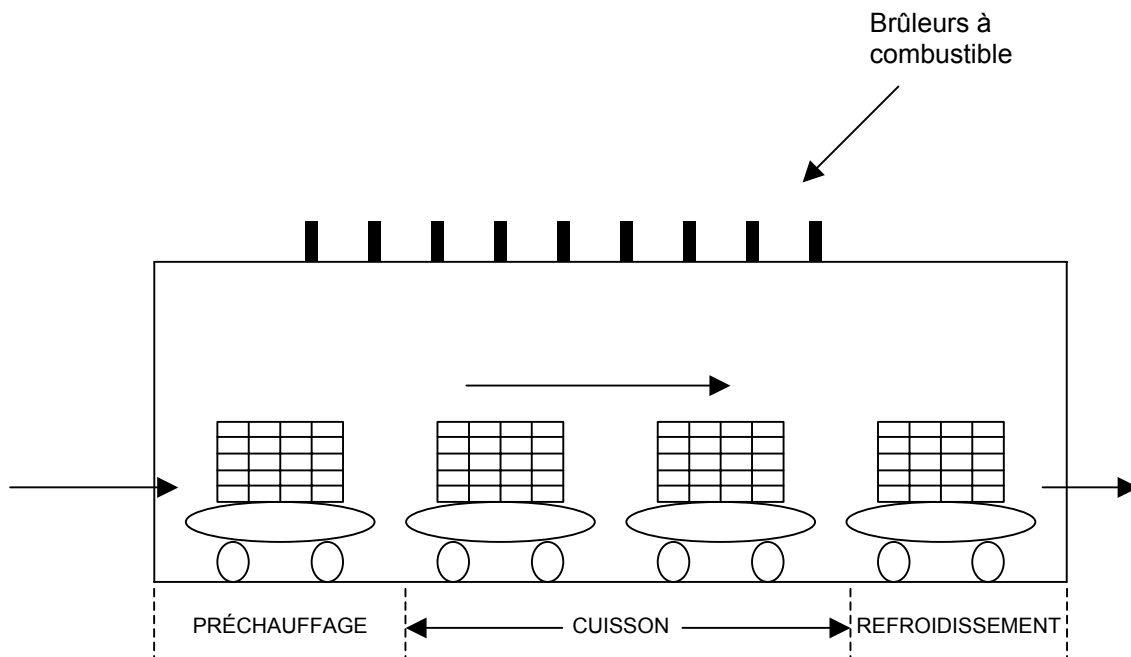


Figure 3.11 : Schéma d'un four tunnel

Ce four est divisé en trois zones : le préchauffage, la cuisson et le refroidissement.

- **Préchauffage** : cette zone bénéficie du courant d'air chaud qui provient de la zone de cuisson et circule dans le sens inverse de l'avancée du produit. La chaleur récupérée est généralement utilisée en tant que source thermique destinée à faire chuter la teneur en eau

du matériau (aussi bien l'eau absorbée en surface que celle absorbée par l'ensemble de la structure) grâce à une augmentation progressive de la température.

- **Cuisson** : les brûleurs à combustible permettent l'obtention d'une courbe de cuisson optimale dans la partie centrale du four.
- **Refroidissement** : le produit est soumis à un refroidissement progressif afin d'éviter toute fissure sur les pièces due à un changement brusque de la température.

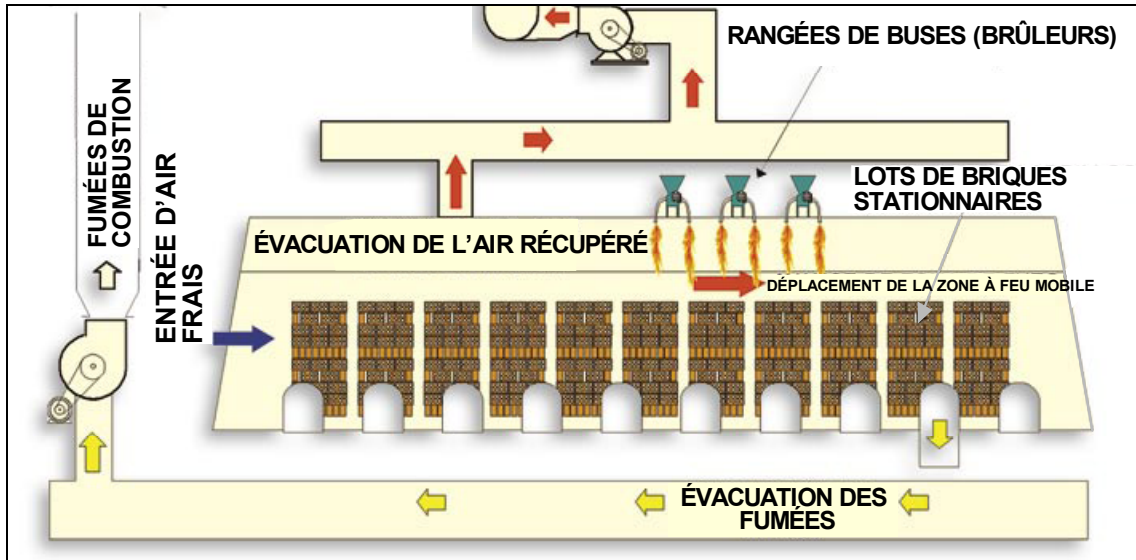


Photo 3.9 : Four tunnel, produit au sortir du processus de cuisson

2. Four Hoffmann

À la différence du four tunnel, il s'agit d'un four à feu mobile qui se déplace le long des différentes chambres dans lesquelles se trouvent les produits à cuire maintenus immobiles et ce, jusqu'à l'établissement d'une courbe de cuisson affichant des caractéristiques similaires à celles obtenues avec les fours tunnels.

Ce type de four est composé d'une série de chambres assemblées entre elles et alimentées en produit sec provenant du séchoir. Les brûleurs se déplacent d'une chambre à l'autre en procédant à la cuisson du produit. Ce système permet également le préchauffage des matériaux et le refroidissement des gaz d'échappement.



Source : Gouvernement d'Andalousie

Figure 3.12 : Schéma d'un four Hoffmann

L'efficacité énergétique de ces deux types de fours est différente. Le four tunnel consomme en moyenne 410 kcal/kg alors que la consommation du four Hoffmann est de 480 kcal/kg.

c. Aspects environnementaux

L'obtention de la température optimale nécessaire à la cuisson des produits céramiques (entre 875 et 1 000 °C) est associée à une consommation de combustible significative et à l'émission de polluants dans l'air liée à la combustion. Toutefois, il convient de souligner que les émissions de gaz sont canalisées étant donné que ces types de fours sont équipés de cheminées rejetant les fumées vers l'extérieur.

Les gaz chauds qui se dégagent du four sont également sources d'émission de chaleur.

Enfin, les pièces cuites qui ne répondent pas aux exigences de qualité ou qui présentent certains défauts peuvent entraîner la production de déchets inertes.

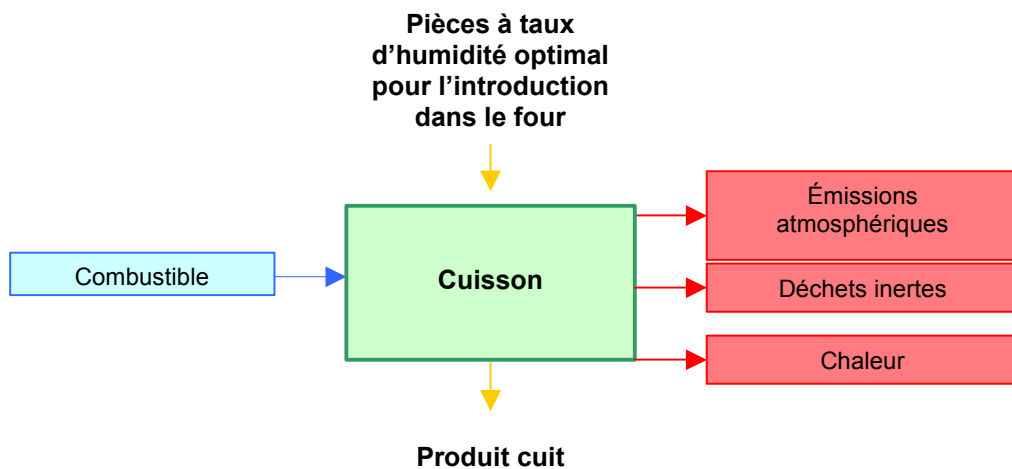


Figure 3.13 : Aspects environnementaux liés au séchage artificiel

3.7. PRÉPARATION ET STOCKAGE DU PRODUIT

a. Opération

Les produits finis sont empilés sur des palettes de bois ou les uns sur les autres. Ils peuvent notamment être enveloppés d'un film plastique rétractable et d'un feuilard facilitant leur distribution ultérieure.

Certaines entreprises humectent le produit fini pour lui conférer la consistance exigée par le client. Cette opération peut être menée à bien de deux manières en fonction de chaque installation.

- Arrosage du produit au moyen d'un tuyau
- Immersion du produit dans des piscines prévues à cet effet

Le stockage peut se faire dans un entrepôt fermé ou bien à ciel ouvert.



Photo 3.10 : Empilage du produit avant mise sous film plastique rétractable



Photo 3.11 : Stock de produits finis

b. Technologies associées

La préparation des produits au stockage peut être réalisée manuellement ou bien au moyen d'une **empaqueteuse** effectuant la mise en place des feuillets ou des films plastiques rétractables autour des lots de produits finis.



Photo 3.12 : Machine utilisée pour le conditionnement du produit avant distribution

c. Aspects environnementaux

Le conditionnement peut produire des déchets inertes provenant des emballages utilisés (morceaux de plastique ou de palettes cassées). L'utilisation de machines industrielles, le cas échéant, entraîne une consommation d'énergie électrique.

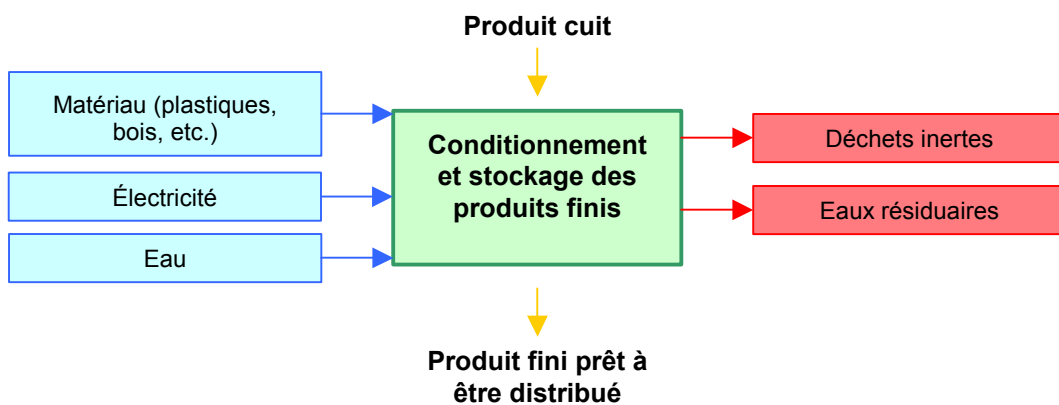


Figure 3.14 : Aspects environnementaux liés au stockage des produits finis

3.8. OPÉRATIONS AUXILIAIRES

Cette section décrit deux des opérations auxiliaires les plus usitées dans le secteur de la céramique de construction et pouvant avoir un impact sur l'environnement : la cogénération et la production de vapeur à partir de chaudières.

Il convient de souligner que les industries du secteur ne font pas toutes appel à ce type de technologie car elle implique un investissement élevé, rarement à la portée de toutes les entreprises. Ce n'est que dans les pays dotés des infrastructures les plus développées que l'on rencontre ce type de procédé.

3.8.1. Cogénération

Le procédé de cogénération (production simultanée d'électricité et d'énergie thermique utile à partir d'un seul combustible) est beaucoup plus efficace que la méthode classique qui consiste à produire la chaleur et l'électricité séparément. Son application s'avère donc pertinente en vue de répondre aux objectifs d'économie d'énergie et de préservation de l'environnement, tout particulièrement lorsque le combustible employé est renouvelable.

Les systèmes de cogénération ne sont en aucun cas synonymes de diminution de la consommation de combustible nécessaire à la production d'électricité. Leur but consiste uniquement à profiter au maximum du potentiel de cette source d'énergie. Ainsi, l'énergie chimique contenue dans le combustible est exploitée pour obtenir de l'électricité et, parallèlement, l'énergie thermique nécessaire (sous-produit).

La mise en place d'un système de cogénération entraîne une augmentation de la consommation totale de combustible dans l'entreprise mais favorise le bilan énergétique global grâce à un rendement plus élevé du processus.

Pour simplifier, tout consommateur d'énergie thermique peut envisager la cogénération s'il utilise cette énergie à une température inférieure à 500 °C. Tout consommateur de vapeur, de fluide thermique, d'eau chaude ou de gaz destiné au séchage est donc un utilisateur potentiel de systèmes de cogénération.

La céramique est l'un des secteurs de cogénération par excellence avec une utilisation énergétique intensive équivalant à plus de 8 000 heures/an d'exploitation. L'application la plus classique est la production d'air chaud entre 90 et 130 °C pour le séchoir avec une production éventuelle de vapeur pour l'extrusion sur boudineuse.

Ces installations reposent sur un concept très simple étant donné que les gaz chauds produits par une turbine ou un moteur sont directement exploitables lors de l'opération de séchage.



Photo 3.13 : Procédé de cogénération à partir de fioul

Aspects environnementaux

Les aspects environnementaux les plus significatifs de la cogénération sont : les émissions atmosphériques générés par la consommation de combustible (gaz naturel en règle générale) et la production de bruit liée au fonctionnement, même si les répercussions de ce dernier sur l'environnement tendent à être négligeables grâce au confinement des moteurs dans des salles isolées.

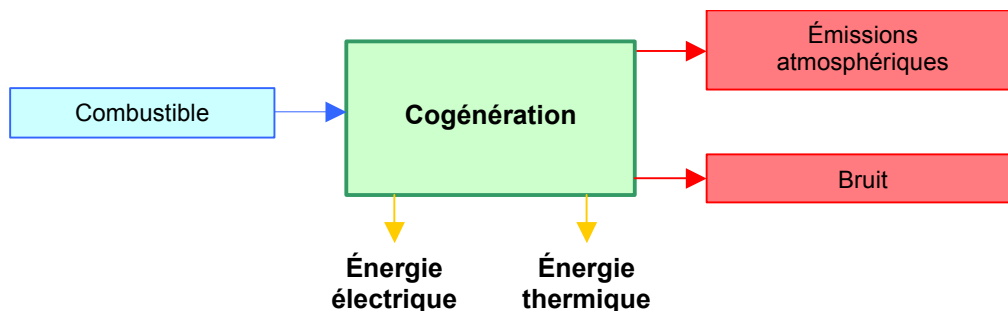


Figure 3.15 : Aspects environnementaux liés à la cogénération

3.8.2. Chaudières à vapeur

Sur certaines installations propres au secteur de la céramique, l'apport d'humidité nécessaire au malaxage (cf. point 3.4.1) se fait par le biais de vapeur d'eau provenant de chaudières. Ces chaudières fonctionnent habituellement au gaz naturel ou au fioul et confèrent à l'argile une humidité suffisante afin qu'elle puisse être ultérieurement moulée au cours de l'opération d'extrusion.

La photo ci-dessous représente une chaudière à production de vapeur installée dans une entreprise du secteur de la céramique de construction.

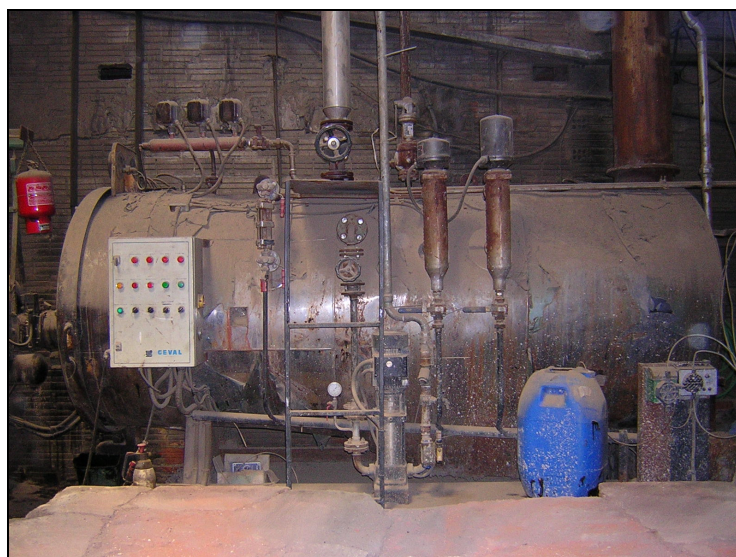


Photo donnée par TEULERIA LES FORQUES S.A.

Photo 3.14 : Chaudière à production de vapeur

La production de vapeur à partir d'une chaudière est généralement associée à un procédé d'osmose inverse destiné à l'épuration des eaux usées du réseau. L'osmose inverse est une opération qui permet le dessalement physique, chimique et bactériologique de l'eau. Ce système fonctionne à l'aide de membranes semi-perméables disposées en spirale qui agissent tels des filtres en retenant et en éliminant une grande partie des sels dissous, tout en empêchant le passage des bactéries et des

virus. Cette méthode a pour résultat une eau pure et stérilisée. Les eaux à forte teneur en sels peuvent être traitées par osmose inverse jusqu'à l'obtention des limites jugées acceptables pour leur utilisation.

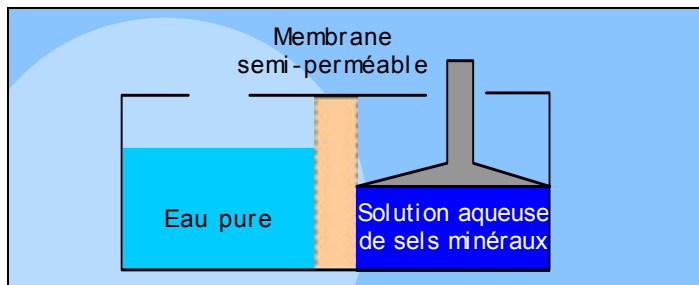


Figure 3.16 : Schéma du procédé d'osmose inverse

Aspects environnementaux

Les aspects environnementaux rattachés à la production de vapeur sont, en premier lieu, la consommation de combustible nécessaire au fonctionnement accompagnée bien évidemment de émissions atmosphériques dérivés de la combustion. En second lieu viennent les eaux résiduares à forte teneur en sels provenant du procédé d'osmose inverse et qui doivent impérativement être traitées.

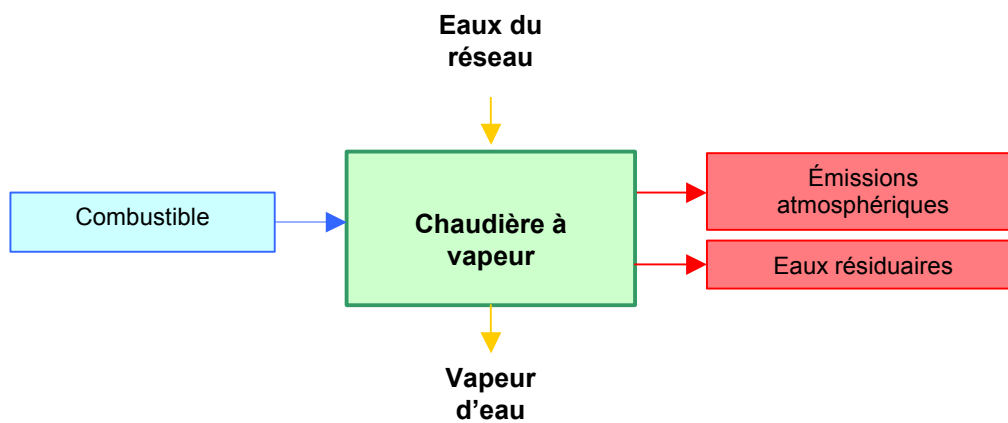


Figure 3.17 : Aspects environnementaux liés à la production de vapeur à partir d'une chaudière

3.9. RÉCAPITULATIF DES ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX

La figure suivante représente les phases du processus et les aspects environnementaux les plus significatifs qui leur sont associés.

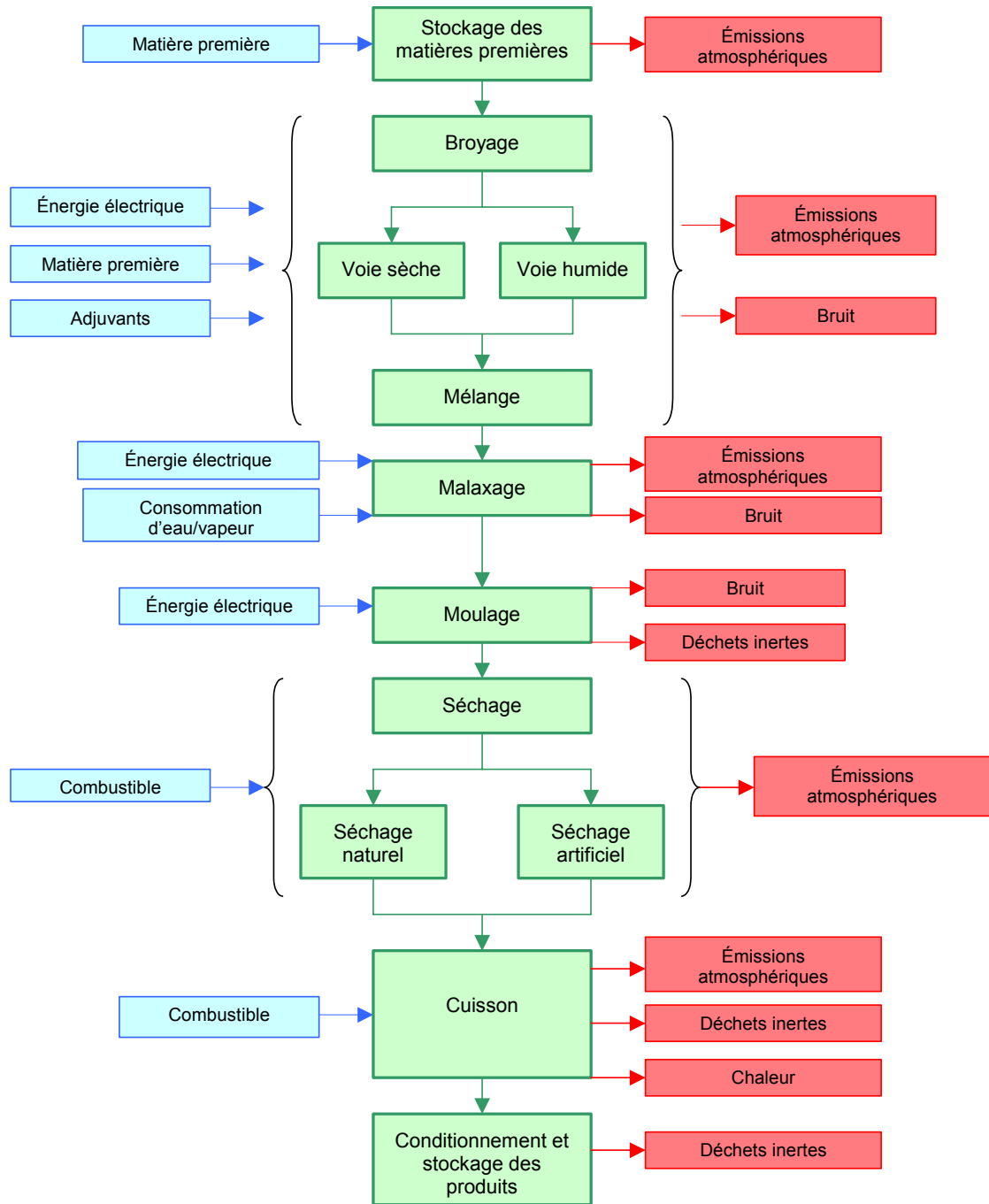


Figure 3.18 : Processus de fabrication de produits céramiques de construction et aspects environnementaux associés

Enfin, le tableau ci-dessous contient la liste des opérations du processus global ainsi que leurs conséquences sur l'environnement. Chaque conséquence fait l'objet d'une évaluation et est accompagné d'une note reflétant son importance en fonction des critères établis au début du chapitre¹.

¹ **Niveau A** : Aspect à impact environnemental très significatif
Niveau B : Aspect à impact environnemental modéré
Niveau C : Aspect à impact environnemental peu significatif

Tableau 3.2 : Aspects environnementaux associés à la fabrication de produits céramiques de construction

| OPÉRATION | | CONSÉQUENCE ENVIRONNEMENTALE | ÉVALUATION |
|---|--------------------|-------------------------------|------------|
| Stockage de la matière première | | Émissions atmosphériques | B |
| Broyage | Voie sèche | Consommation d'énergie | B |
| | | Émissions atmosphériques | B |
| | | Bruit | A |
| Mélange | Voie humide | Consommation d'énergie | B |
| | | Consommation d'eau | B |
| | | Bruit | A |
| | | Émissions atmosphériques | B |
| Malaxage | | Consommation d'énergie | B |
| | | Consommation d'eau | B |
| | | Émissions atmosphériques | B |
| Moulage | | Énergie électrique | B |
| Séchage artificiel | | Consommation de combustible | A |
| | | Émissions atmosphériques | A |
| Cuisson | | Consommation de combustible | A |
| | | Émissions atmosphériques | A |
| | | Production de déchets inertes | B |
| | | Pollution thermique | C |
| Conditionnement et stockage des produits | | Production de déchets inertes | B |
| | | Consommation d'eau | B |
| | | Production d'eaux résiduaires | B |

Ce tableau permet de constater que les conséquences environnementales les plus significatives sont les émissions de polluants dans l'air générées lors du séchage et de la cuisson. La nature de ces polluants dépend évidemment du combustible employé au cours de ces deux opérations ainsi que de la quantité consommée.

Par ailleurs, il convient de noter que la production de bruit lors du broyage peut dans certains cas s'avérer relativement élevée.

Lorsqu'on analyse individuellement les consommations d'énergie électrique, on constate qu'elles ne sont pas excessives. En revanche, si l'on s'attarde sur l'analyse de l'ensemble du processus, ces consommations sont significatives dans 3 des 6 opérations principales identifiées. Par conséquent, celles-ci doivent être prises en compte dans leur globalité.

Enfin, il est important de souligner que la consommation d'eau n'a qu'un faible impact sur l'environnement alors que la production de déchets peut être significative, d'où la nécessité d'effectuer une analyse en vue de la minimisation de ces déchets.

4. ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX LIÉS À LA CÉRAMIQUE DE CONSTRUCTION

Les principaux aspects environnementaux associés au secteur de la céramique de construction concernent des émissions atmosphériques relativement conséquents : émissions de particules dans le cadre de plusieurs opérations et émissions de gaz de combustion rejetés principalement lors du séchage et de la cuisson.

L'importante consommation globale d'énergie électrique et d'eau, ainsi que la production de bruit liée à certaines opérations constituent également d'autres aspects significatifs. La production d'eaux résiduelles et de déchets au cours du processus doit aussi être prise en compte en raison de son impact sur l'environnement.

Il convient de souligner que la quantification de ces aspects peut varier d'une installation à l'autre en fonction de différentes caractéristiques : dimensions et ancienneté de l'installation, quantité produite, équipements, procédures, sensibilisation et formation du personnel, etc.

4.1. ÉMISSIONS ATMOSPHÉRIQUES

Comme indiqué précédemment, les émissions atmosphériques constituent l'impact le plus important du secteur de la céramique de construction sur l'environnement.

Ces émissions sont principalement générées lors des processus de combustion se déroulant dans les fours et les séchoirs et qui correspondent respectivement à la cuisson et au séchage.

Le tableau suivant regroupe une estimation des valeurs moyennes relatives aux émissions de polluants lors de l'élaboration de produits céramiques de construction. Les données sont exprimées par kg de matériaux produits.

Tableau 4.1 : Valeurs moyennes des émissions atmosphériques dans le secteur de la céramique de construction

| POLLUANTS | VALEUR MOYENNE (MG/KG) | ÉVALUATION ² |
|--|------------------------|-------------------------|
| Particules | 17,6 | A |
| NO _x en équivalent NO ₂ | 184,0 | B |
| SO _x en équivalent SO ₂ | 39,6 | C |
| CO ₂ | 149 000 | B |
| CO | 189,0 | B |
| Chlore et composés inorganiques (exprimés en équivalent HCl) | 4,1 | C |
| Fluor et composés inorganiques (exprimés en équivalent HF) | 12,7 | C |
| Substances organiques exprimées en carbone total | 34,5 | C |
| Éthanol | 3,1 | C |
| Benzène | 2,3 | C |
| Méthanol | 5,7 | C |
| Phénol | 0,7 | C |

Source : Draft reference Document on Best Available Techniques in the Ceramic Manufacturing Industry (Document de référence sur les meilleures techniques disponibles dans le secteur de la céramique de construction) (Version octobre 2004)

² Le critère utilisé pour l'évaluation est décrit dans le chapitre 3 de ce manuel

Les données contenues dans ce tableau sont fournies à titre indicatif. Les niveaux d'émission varient en effet en fonction du type et de la qualité du combustible utilisé, de l'état des installations, de l'efficacité des brûleurs et du contrôle du processus de combustion, sans oublier la nature des polluants présents dans les gaz de combustion, soit principalement SO₂, CO, CO₂, NO₂ et particules.

D'autres polluants tels que le cadmium (Cd), le zinc (Zn), l'arsenic (As), le nickel (Ni) sont également émis en quantités infimes.

Les principaux problèmes environnementaux dérivés de ces émissions sont :

- La contribution à l'effet de serre avec des quantités importantes de CO₂
- La contribution à la formation de pluies acides en cas de consommation de combustibles à forte teneur en soufre et les problèmes transfrontaliers éventuels dérivés de l'emplacement géographique de ces industries

- La contribution à certains problèmes locaux (pollution des sols, des eaux, etc.) due à la présence de polluants toxiques

Certaines opérations auxiliaires appliquées dans le secteur (cogénération ou chaudières à vapeur) peuvent entraîner des émissions atmosphériques supplémentaires qui ne doivent en aucun cas être ignorées même si leur quantité et contribution sont de moindre importance.

4.2. CONSOMMATION D'ÉNERGIE

Le processus de fabrication implique une grande quantité de machines et, par conséquent, une consommation d'énergie élevée. Néanmoins, celle-ci dépend du degré de mécanisation de l'installation étudiée, de nombreuses entreprises réalisant encore nombre de sous-processus sans aucune aide mécanique mais en recourant à des opérateurs.

Le tableau suivant recense les énergies les plus courantes accompagnées d'une estimation de la consommation par rapport à l'ensemble de l'installation.

Tableau 4.2 : Évaluation qualitative de la consommation d'énergie dans le secteur de la céramique de construction

| OPÉRATION | | ÉNERGIE | NIVEAU DE CONSOMMATION | ÉQUIPEMENTS |
|------------------------|----------------|------------|------------------------|---------------------------------------|
| Broyage | | Électrique | B | Broyeur d'argile |
| Malaxage | | Électrique | B | Malaxeur |
| Moulage | | Électrique | B | Extrudeuse ou boudineuse |
| Séchage | | Thermique | B | Brûleurs |
| Cuisson | | Thermique | A | Four de cuisson |
| Opérations auxiliaires | Cogénération | Thermique | B | Moteurs de cogénération |
| | Sous-processus | Électrique | C | Manipulation et transport de produits |

Dans ce tableau, il convient de souligner que la catégorie *opérations auxiliaires* se réfère à toutes les machines nécessaires au transport des matériaux sur le site ainsi qu'à l'empilage et au conditionnement des produits finis pour leur distribution ultérieure, etc.

La consommation d'énergie électrique associée à ces opérations dépend du type de l'installation étudiée et de la façon dont ces opérations sont menées à bien. Les données du tableau correspondent à une entreprise dans laquelle le transport des matériaux et le conditionnement en vue de la distribution sont mécanisés, d'où une consommation électrique liée à ces machines.

La nature du combustible constitue l'un des facteurs les plus importants car elle influe sur la consommation d'énergie thermique étant donné que chaque combustible possède des caractéristiques bien particulières déterminant un comportement énergétique spécifique pendant la combustion (le chapitre 6 de ce manuel présente une analyse de l'efficacité énergétique et environnementale des différents combustibles employés dans le processus).

Sachant que les deux fours les plus employés sont ceux de type tunnel et les fours Hoffmann (cf. point 3.6), le tableau suivant contient une évaluation quantitative des consommations d'énergie de chacun d'eux.

Tableau 4.3 : Consommation d'énergie thermique en fonction du type de four

| OPÉRATION DE CUISSON | | |
|----------------------|-----------------|---|
| Type de four | Consommation | Observation |
| Túnel | 165-340 kcal/kg | Gaz naturel, gazole, fioul, coke de pétrole, biomasse |
| Hoffman | 486 kcal/kg | Mélange de coke de pétrole et de marc |

Source : Ministère espagnol de l'industrie et de l'énergie

En règle générale, le four tunnel est plus efficace du point de vue énergétique que le four Hoffmann ce qui a entraîné une diminution de son utilisation au cours de ces dernières années.

4.3. CONSOMMATION D'EAU

Dans l'ensemble, le secteur de la céramique de construction se caractérise par de faibles consommations d'eau. Les principales opérations faisant appel à l'eau sont le broyage par voie semi-humide et le malaxage.

L'introduction d'opérations auxiliaires en bout de chaîne peut également se traduire par une consommation d'eau comme en cas d'arrosage du produit fini et, selon les entreprises, en cas de nettoyage des installations (même si cette dernière opération est généralement effectuée au moyen d'aspirateurs à poussière).

Tableau 4.4 : Évaluation qualitative de la consommation d'eau dans le secteur de la céramique de construction

| OPÉRATION | | NIVEAU DE CONSOMMATION | OBSERVATIONS |
|------------------------------|-----------------------------|------------------------|--|
| Broyage par voie semi-humide | | B | Toute l'eau introduite est absorbée par le matériau |
| Malaxage | | B | Toute l'eau introduite est absorbée par le matériau |
| Opérations auxiliaires | Arrosage des produits finis | B | Le produit est parfois immergé dans des piscines |
| | Nettoyage des installations | C | Le nettoyage est généralement réalisé à l'aide d'un aspirateur à poussière |

La quantification des consommations d'eau révèle un besoin quotidien d'environ 6 600 litres d'eau pour l'ensemble du processus (en tenant compte de la consommation d'eau découlant de l'opération

de malaxage) et de près de 1 000 litres pour l'eau nécessaire aux installations sanitaires (sur une base de 10 employés).

Il est important de noter que ces données peuvent varier en fonction du nombre d'employés, du type de processus développé sur le site, de la méthode de broyage utilisée (voie humide ou voie sèche) et du recours ou non à un arrosage du produit fini avant expédition.

4.4. PRODUCTION DE BRUIT

Le bruit a tendance à être peu significatif dans le secteur de la céramique de construction. Le broyage de l'argile en vue d'obtenir une granulométrie appropriée constitue l'opération la plus bruyante.

En outre, les installations équipées d'un ou plusieurs moteurs de cogénération peuvent aussi être sources de bruit.

Le reste des machines utilisées génère un niveau de bruit considéré comme négligeable par rapport aux émissions dans l'environnement.

4.5. EAUX RÉSIDUAIRES

Le secteur industriel de la céramique ne produit qu'une quantité peu significative d'eaux résiduelles étant donné que les opérations impliquant la consommation d'eau se limitent au malaxage et au broyage par voie semi-humide, étapes durant lesquelles, comme nous l'avons souligné, la totalité de l'eau introduite est retenue et absorbée par le matériau.

Il convient de noter que certaines entreprises du secteur qui recourent à une argile à forte teneur en chaux arrosent leur produit fini ou l'introduisent dans des piscines afin de durcir le matériau et de lui conférer les propriétés finales exigées. Les eaux employées deviennent donc des eaux résiduelles, leur nature ayant été altérée par l'entrée en contact avec le matériau. Elles devront donc être prises en compte au niveau des impacts environnementaux du site.

Enfin, certaines entreprises utilisent de l'eau dans le cadre du nettoyage de leurs installations. Toutefois, la majorité procède par voie sèche, au moyen d'aspirateurs ou de système d'aspiration ramassant la poussière et les morceaux d'argile qui sont ensuite déposés dans un conteneur.

4.6. PRODUCTION DE DÉCHETS

Comme dans toute activité industrielle, les installations destinées à l'élaboration de matériaux céramiques de construction sont sources de déchets de plusieurs sortes. En tout état de cause, il convient de souligner que ces déchets ne sont pas produits dans des quantités importantes et que la majorité d'entre eux sont répertoriés comme non dangereux selon la nomenclature du CED (catalogue européen des déchets).

Comme nous pouvons le constater dans le tableau ci-dessous décrivant les principaux déchets produits lors des opérations les plus importantes du secteur de la céramique de construction, certains déchets peuvent être réutilisés sur les installations mêmes qui les ont générés.

Tableau 4.5 : Déchets générés au cours des principales opérations

| DÉCHETS GÉNÉRÉS AU COURS DES PRINCIPALES OPÉRATIONS | | | |
|--|---|--|--|
| Type de déchet | Opération | Caractéristiques | Traitement le plus courant |
| Produits céramiques avant cuisson | Moulage | Matériau mis au rebut lors du broyage | Réutilisation du matériau, introduction dans le malaxeur |
| Produits céramiques après cuisson | Cuisson | Produit présentant un défaut ou une imperfection en sortie de four | Utilisation en tant que produit de remblaiement pour les routes ou les carrières |
| Déchets industriels de bois | Conditionnement du produit ou stockage | Palettes cassées provenant de la palettisation des produits finis | Réparation des palettes cassées, utilisation en étuves ou mise au rebut |
| Déchets plastiques | Conditionnement du produit avant expédition | Morceaux de plastique provenant de la palettisation ou générés pendant le stockage | Mise au rebut |

Le tableau ci-dessous répertorie l'ensemble des déchets générés par différentes opérations auxiliaires introduites dans ce type d'industrie, ainsi que ceux résultant de la maintenance et de l'entretien des installations, des machines, des bureaux, etc.

Tableau 4.6 : Déchets produits lors d'opérations auxiliaires

| DÉCHETS GÉNÉRÉS LORS D'OPÉRATIONS AUXILIAIRES | | | |
|--|-------------------------------|--|--|
| Type de déchet | Opération | Observations | Traitement le plus courant |
| Produits industriels ferreux | Maintenance des installations | Emballages vides | Collecte effectuée par un ferrailleur |
| Sable et argiles | Nettoyage des installations | <ul style="list-style-type: none"> – Poussière céramique provenant du nettoyage à sec des installations – Emballages vides des produits de nettoyage | <ul style="list-style-type: none"> – Réutilisation en tant que matière première – Ordures ordinaires |
| Chiffons et tissus absorbants pollués de graisses et d'huiles | Maintenance, fuites, etc. | Générés lors des différents processus de fabrication | Ordures ordinaires |

Au vu de ces deux tableaux, on constate que le secteur de la céramique ne génère pas une très grande variété de déchets au cours des différentes opérations. Néanmoins, certains déchets sont produits dans des quantités suffisamment élevées et leur impact sur l'environnement est donc considéré comme important. En outre, il convient de garder à l'esprit que nombre de ces produits ne sont pas traités de manière satisfaisante d'un point de vue écologique et ne sont pas gérés conformément à la législation en vigueur.

Ces conclusions sont résumées dans le tableau ci-après. Le critère d'évaluation utilisé est détaillé dans le chapitre 4 de ce manuel.

Tableau 4.7 : Évaluation qualitative des déchets générés dans le secteur

| | TYPE DE DÉCHET | NIVEAU DE PRODUCTION | IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT |
|--|---|----------------------|----------------------------|
| Déchets produits au cours des principales opérations | Produits céramiques avant cuisson | Élevé | C |
| | Produits céramiques après cuisson | Élevé | A |
| | Déchets industriels de bois | Moyen | B |
| | Déchets plastiques | Moyen | B |
| Déchets générés lors des opérations auxiliaires | Produits industriels ferreux | Moyen | B |
| | Sable et argiles | Élevé | A |
| | Chiffons et tissus absorbants pollués de graisses | Moyen | A |

Les déchets affichant l'impact le plus important sur l'environnement sont les éléments en contact avec les huiles lubrifiantes comme les chiffons et les récipients de conditionnement.

Par ailleurs, il est indispensable de prendre en compte, d'une part, les produits non conformes en sortie de four et souvent produits en grand nombre, et, d'autre part, l'accumulation des particules sableuses et argileuses générées au cours des différentes opérations et qui peuvent s'avérer problématiques en raison de leur facilité de dispersion.

5. COMBUSTIBLES UTILISÉS DANS LE SECTEUR DE LA CÉRAMIQUE DE CONSTRUCTION

Ce chapitre décrit les principales caractéristiques des combustibles les plus utilisés dans le secteur de la céramique de construction ainsi que les possibilités d'amélioration de leur rendement environnemental.

Comme indiqué précédemment, les émissions atmosphériques générées par le secteur constituent l'un des impacts les plus importants sur l'environnement. Dans ce contexte, la nature du combustible qui alimente le four et/ou le séchoir pendant la cuisson ainsi que son rendement aussi bien énergétique qu'environnemental jouent un rôle significatif sur les émissions atmosphériques et sur les caractéristiques du produit.

5.1. PRINCIPAUX COMBUSTIBLES UTILISÉS DANS LE SECTEUR

Le choix du combustible employé pour la fabrication des produits céramiques de construction dépend de plusieurs facteurs :

- **Disponibilité** : les combustibles comme la biomasse (très demandée dans le secteur en raison de ses qualités spécifiques), se caractérisent par une disponibilité variable qui rend parfois leur consommation difficile étant donné que l'industrie requiert un approvisionnement régulier.
- **Distribution et infrastructures** : certaines zones ne disposent pas des infrastructures nécessaires au transport et à la distribution de certains combustibles comme le gaz naturel acheminé par gazoduc, par exemple.
- **Prix** : il s'agit d'un facteur déterminant au moment du choix du combustible. Il convient de prendre en compte les prix actuels mais aussi les fluctuations prévisibles qui peuvent intervenir par la suite.
- **Efficacité environnementale** : dans les pays de la région Méditerranée dotés d'une législation restrictive, l'efficacité environnementale revêt une importance fondamentale. En effet, l'utilisation d'un combustible permet aux sites industriels de répondre ou non à la réglementation en vigueur, ce qui peut porter préjudice à l'environnement et donc entraîner un risque de sanction.
- **Efficacité énergétique** : l'efficacité énergétique d'un combustible est également un facteur important lors du choix de son utilisation dans les fours de cuisson. Cependant, le manque d'informations et d'études suffisamment approfondies rend ce facteur secondaire dans le choix le combustible.

En outre, l'entrée en vigueur du protocole de Kyoto à l'échelle planétaire, oblige les états qui se trouvent dans son champ d'influence à réduire les émissions de produits polluants à effet de serre. Par conséquent, le choix du combustible employé devient un facteur déterminant pour l'entreprise.

Comme nous l'avons stipulé dans le chapitre 3 de ce manuel, les principaux combustibles actuellement utilisés dans le secteur sont :

- Le gaz naturel
- Le coke de pétrole ordinaire et micronisé
- Le fioul
- Le charbon
- La biomasse

Chaque combustible fait l'objet d'une analyse des aspects suivants :

a. Composition : indication de la composition chimique du combustible.

b. Caractéristiques générales et évaluation qualitative : analyse des caractéristiques principales du combustible (PCI, méthode d'approvisionnement, type de stockage, etc.) et évaluation qualitative de son efficacité énergétique et environnementale.

5.1.1. Gaz naturel

a. Composition chimique

La composition chimique du gaz naturel est la suivante :

Tableau 5.1 : Composition chimique du gaz naturel

| ÉLÉMENTS | POURCENTAGE (%) |
|-----------|-----------------|
| Carbone | 74,5 |
| Hydrogène | 23 |
| Soufre | - |
| Azote | 2,4 |
| Oxygène | - |
| Autres | 0,1 |
| Eau | < 0,1 |

La teneur en soufre du gaz naturel est si faible qu'elle est généralement considérée comme nulle.

b. Caractéristiques générales

Tableau 5.2 : Caractéristiques du gaz naturel

| GAZ NATUREL | | |
|------------------------------|--|--|
| PCI (kcal/kg) | OPÉRATIONS DANS LESQUELLES IL EST UTILISÉ | APPROVISIONNEMENT |
| 11 600 | – Cuisson – Chaudières auxiliaires – Séchage – Cogénération | Par gazoducs |
| ÉTAT | | |
| Gazeux ou gaz liquéfié (GNL) | | |
| TYPE DE STOCKAGE | EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE | RÉPERCUSSIONS ÉCONOMIQUES |
| — | Offre généralement un bon rendement pendant la combustion | Coût élevé. Son prix fluctue en fonction de celui du pétrole |

5.1.2. Coke de pétrole

a. Composition chimique

La composition chimique du coke de pétrole est la suivante :

Tableau 5.3 : Composition chimique du coke de pétrole

| ÉLÉMENTS | POURCENTAGE (%) |
|------------------|------------------------|
| Carbone | 87,5 |
| Hydrogène | 3,5 |
| Soufre | 5-6 |
| Azote | 1,5 |
| Oxygène | 1 |
| Autres | 0,5 |
| Eau | < 10 |

b. Caractéristiques générales

Tableau 5.4 : Caractéristiques générales du coke de pétrole

| COKE DE PÉTROLE | | |
|------------------------------|---|---|
| PCI (kcal/kg) | OPÉRATIONS DANS LESQUELLES IL EST UTILISÉ | APPROVISIONNEMENT |
| 7 700 | – Cuisson | Par transport terrestre |
| ÉTAT | | |
| Solide | | |
| TYPE DE STOCKAGE | EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE | RÉPERCUSSIONS ÉCONOMIQUES |
| En entrepôt ou à ciel ouvert | Offre généralement un bon rendement pendant la combustion | Prix inférieur à celui de tous les autres combustibles. Fluctuation possible en fonction de la teneur en soufre et de l'HGI |

Pour des raisons économiques, le coke de pétrole est parfois mélangé aux argiles.

5.1.3. Coke micronisé

a. Composition chimique

La composition chimique du coke micronisé est la suivante :

Tableau 5.5 : Composition chimique du coke micronisé

| ÉLÉMENTS | POURCENTAGE (%) |
|------------------|------------------------|
| Carbone | 87 |
| Hydrogène | 3,5 |
| Soufre | 5-6 |
| Azote | 1,5 |
| Oxygène | 1 |
| Autres | 0,5 |
| Eau | < 0,5 |

b. Caractéristiques générales

Tableau 5.6 : Caractéristiques générales du coke micronisé

| COKE MICRONISÉ | | |
|---|---|---|
| PCI (kcal/kg) | OPÉRATIONS DANS LESQUELLES IL EST UTILISÉ | APPROVISIONNEMENT |
| 8 300 | – Cuisson | Par camions-citernes |
| ÉTAT | | |
| Solide micronisé (taille moyenne des grains d'environ 20 microns) | | |
| TYPE DE STOCKAGE | EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE | RÉPERCUSSIONS ÉCONOMIQUES |
| En silos | La taille de particule associée à la circulation de l'air dans le four entraîne une distribution uniforme de la chaleur qui se traduit par un bon rendement | Le prix du coke micronisé est supérieur à celui du coke de pétrole ordinaire et inférieur au prix des autres combustibles |

L'avantage du coke micronisé par rapport au coke ordinaire réside dans son transport par camion-citerne et sa mise en silos permettant d'éliminer les émissions de particules dans l'atmosphère, générées au cours du transport, du chargement, du déchargement et du stockage.

5.1.4. Fioul

a. Composition chimique

La composition chimique du fioul est la suivante :

Tableau 5.7 : Composition chimique du fioul

| ÉLÉMENTS | POURCENTAGE (%) |
|------------------|------------------------|
| Carbone | 86 |
| Hydrogène | 11 |
| Soufre | 1 |
| Azote | 1 |
| Oxygène | - |
| Autres | 1 |
| Eau | < 0,2 |

b. Caractéristiques générales

Tableau 5.8 : Caractéristiques du fioul

| FIOUL | | |
|-------------------------|--|--|
| PCI (kcal/kg) | OPÉRATIONS DANS LESQUELLES IL EST UTILISÉ | APPROVISIONNEMENT |
| 9 700 | – Cuisson – Cogénération | Par camions-citernes |
| ÉTAT | | |
| Liquide | | |
| TYPE DE STOCKAGE | EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE | RÉSULTATS ÉCONOMIQUES |
| Réservoir | Préchauffage obligatoire au vu de sa basse température d'ignition. Bon comportement pendant la combustion | Coût élevé. Son prix fluctue en fonction de celui du pétrole |

5.1.5. Charbon

a. Composition chimique

Il existe différents types de charbon répertoriés en fonction des pressions et des températures qui ont entraîné leur formation : la tourbe, le lignite, la houille (charbon bitumineux) et l'antracite.

La tourbe est pauvre en carbone et se révèle un combustible médiocre. Le lignite vient aussitôt après dans l'échelle de richesse en carbone mais, bien qu'utilisé dans certaines centrales thermiques, il reste un combustible relativement médiocre. La houille est beaucoup plus riche en carbone et possède un pouvoir calorifique élevé. L'utilisation de ce combustible est très répandue dans les usines de production d'énergie par exemple. L'antracite est considéré comme la fleur des charbons. Très peu polluant, il possède un pouvoir calorifique élevé.

Du point de vue élémentaire, le charbon contient principalement du carbone, de l'hydrogène et de l'oxygène mais renferme également de l'azote et du soufre en moindres proportions.

Les caractéristiques principales des différents types de charbon sont les suivantes :

Tableau 5.9 : Caractéristiques des différents types de charbon

| CARACTÉRISTIQUES | HOUILLE | ANTHRACITE |
|---------------------------------|----------------|-------------------|
| Humidité (%) | 10-25 | 3-5 |
| % C | 35-70 | 85-95 |
| % Matières volatiles | 25-50 | 2-10 |
| % Cendres | 10-15 | 2-5 |
| P. calorifique (kcal/kg) | 4 000-7 000 | 7 000-8 500 |

Leur composition élémentaire est la suivante (% donnés à titre indicatif) :

Tableau 5.10 : Composition chimique des différents types de charbon

| CARACTÉRISTIQUES | HOUILLE* | ANTHRACITE* |
|----------------------------------|-----------------|--------------------|
| H₂O (humidité) | 15 | 2 |
| Carbone | 60 | 86 |
| Hydrogène | 4 | 3 |
| Azote | 7 | 3 |
| Oxygène | 3 | 1 |
| Soufre | 1 | 1 |

* Donnés exprimées en % sur masse

b. Caractéristiques générales

Tableau 5.11 : Caractéristiques générales du charbon

| CHARBON | | |
|------------------------------|---|--|
| PCI (kcal/kg) | OPÉRATION DANS LESQUELLES IL EST UTILISÉ | APPROVISIONNEMENT |
| Dépend du type de charbon | – Cuisson | Par camions |
| ÉTAT | | |
| Solide | | |
| TYPE DE STOCKAGE | EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE | RÉPERCUSSIONS ÉCONOMIQUES |
| En entrepôt ou à ciel ouvert | Son faible PCI associé à une production de cendres élevée est synonyme de faible efficacité | Son prix se situe entre celui du coke de pétrole et celui du gaz |

La consommation de charbon dans le secteur de la céramique de construction est en passe de disparaître pour laisser place à d'autres combustibles plus efficaces du point de vue énergétique et environnemental, comme le coke de pétrole ou le gaz naturel.

5.1.6. Biomasse

Le marc d'olives, dont les caractéristiques principales sont présentées ci-dessous, fait partie d'une variété de biomasse des plus employées. La composition et les données peuvent varier en fonction du type de biomasse.

a. Composition chimique

La composition chimique du marc d'olives est la suivante :

Tableau 5.12 : Composition chimique du marc d'olives

| ÉLÉMENTS | POURCENTAGE (%) |
|------------------|------------------------|
| Carbone | 50,00 |
| Hydrogène | 6,40 |
| Soufre | 0,11 |
| Azote | 1,20 |
| Oxygène | 34,50 |
| Chlore | 0,10 |
| Autres | 8,69 |

b. Caractéristiques générales

Tableau 5.13 : Caractéristiques générales de la biomasse

| BIOMASSE | | |
|---|---|--|
| PCI (kcal/kg) | OPÉRATIONS DANS LESQUELLES ELLE EST UTILISÉE | APPROVISIONNEMENT |
| Entre 2 831 et 4 541 (en fonction du taux d'humidité) | – Cuisson – Séchage | Par camions |
| ÉTAT | | |
| Solide | | |
| TYPE DE STOCKAGE | EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE | RÉPERCUSSIONS ÉCONOMIQUES |
| En entrepôt ou à ciel ouvert | Son faible PCI se traduit par une efficacité énergétique médiocre | Son coût est élevé et varie principalement en fonction de sa disponibilité |

5.1.7. Émissions générées

Cette section propose une comparaison des émissions générées par chaque combustible à partir des facteurs d'émission obtenus auprès de différentes sources officielles.

Tableau 5.14 : Facteurs d'émission par type de combustible

| | TYPE DE FOUR | GAZ NATUREL | COKE DE PÉTROLE | FIOUL | CHARBON | BIOMASSE |
|--|---------------------|--------------------|------------------------|----------------|----------------|--|
| SO₂ (kg/tonne de production) | Tunnel | 0,335 (E) | 1,17 (C) | 2 (C) | 3,665 (C) | 0,335 (E) |
| | Hoffmann | — | | 2,950 (E) | 6,065 (E) | — |
| CO (kg/tonne de production) | Tunnel | 0,030 (C) | 0,17 (C) | 0,060 (C) | 0,715 (C) | 0,8 (C) |
| | Hoffmann | 0,075 (C) | | 0,095 (C) | 1,195 (C) | — |
| CO₂ (kg/MJ) | Général | 0,05629 (N) | 0,09919 (N) | 0,07748 (N) | 0,0946 (N) | 0,096 (N) Sciure, marc d'olives, etc. |
| NO₂ (kg/tonne de production) | Tunnel | 0,090 (C) | 0,34 (C) | 0,550 (C) | 0,725 (C) | 0,185 (E) |
| | Hoffmann | 0,250 (C) | | 0,810 (C) | 1,175 (C) | — |
| Particules (kg/tonne de production) | Général | 0,435 | Non disponible | Non disponible | 0,7 | 0,425 |

E : source EPA; C : source CORINAIR, N : données publiées par l'Espagne pour le Secrétariat de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques

Ces données permettent de tirer une première conclusion : les émissions générées par un four Hoffmann sont généralement plus élevées que celles rejetées par un four tunnel et ce, indépendamment du type de combustible utilisé. Associé à un rendement énergétique plus faible, ceci a entraîné une diminution de l'utilisation des fours Hoffmann dans le secteur, se reflétant avant tout dans les pays où l'économie et la technologie permettent un changement de cette ampleur au sein du site.

En second lieu, on s'aperçoit que les combustibles qui génèrent le moins de rejets sont le gaz naturel et la biomasse, suivis du coke de pétrole. Le fioul et le charbon ferment la marche avec des rejets d'agents polluants plus élevés.

La teneur relativement élevée du soufre dans les combustibles comme le coke de pétrole ou le fioul ne représente pas un obstacle quant aux émissions de SO₂ générées par le secteur. En effet, la cuisson des argiles dans l'industrie de la céramique est réalisée dans des fours où les gaz de combustion entrent en contact avec le produit et où la composition des argiles est telle qu'une partie importante du SO₂ est retenue par le produit fini, empêchant ainsi les émissions atmosphériques sous forme de polluant gazeux.

En analysant les contrôles d'émission et en comparant leurs résultats avec ceux théoriquement attendus en cas de rejet de la totalité du SO₂ produit pendant la combustion, on estime le taux de rétention du dioxyde de soufre entre 60 % et 80 %.

Il convient de souligner que l'introduction du dioxyde de soufre dans le matériau n'a aucune répercussion sur les propriétés mécaniques macroscopiques du produit fini et qu'elle lui confère, au contraire, un meilleur aspect extérieur.

5.1.8. Comparaison des combustibles

Les principales caractéristiques des combustibles les plus répandus dans le secteur ayant été étudiées, nous vous proposons un tableau récapitulatif des principaux avantages et inconvénients de chacun de ces produits.

Tableau 5.15 : Avantages et inconvénients de l'utilisation des différents combustibles dans le secteur de la céramique de construction

| COMBUSTIBLES | AVANTAGES | INCONVÉNIENTS |
|------------------------|---|---|
| Gaz naturel | <ul style="list-style-type: none"> • Émissions atmosphériques plus faibles par rapport aux autres combustibles • PCI élevé • Transport facile et propre | <ul style="list-style-type: none"> • Prix élevé • Les infrastructures nécessaires à sa distribution sont parfois inexistantes |
| Coke de pétrole | <ul style="list-style-type: none"> • Faible prix • Mélange possible avec les argiles • Disponibilité | <ul style="list-style-type: none"> • Possibles émissions de particules lors du transport et du stockage • Émissions atmosphériques modérées • Teneur en soufre élevée (même si les émissions sont catalysées pendant le processus) |
| Coke micronisé | <ul style="list-style-type: none"> • Faible prix • Aucune émission de particule lors du transport et du stockage • PCI plus élevé que le coke ordinaire • Disponibilité | <ul style="list-style-type: none"> • Émissions atmosphériques modérées • Teneur en soufre élevée (même si les émissions sont catalysées pendant le processus) |
| Fioul | <ul style="list-style-type: none"> • PCI élevé • Aucune émission lors du transport et du stockage | <ul style="list-style-type: none"> • Émissions atmosphériques significatives lors de la combustion • Prix élevé • Manipulation complexe lors de la précombustion • Source de danger lors du stockage au sein d'installations vétustes |
| Charbon | <ul style="list-style-type: none"> • Prix modéré • Disponibilité | <ul style="list-style-type: none"> • Émissions atmosphériques importantes • Possibilité d'importantes émissions de particules lors du stockage et du transport |
| Biomasse | <ul style="list-style-type: none"> • Ne contribue pas aux émissions de CO₂ (avantage quant au protocole de Kyoto) • Utilisation prônée dans de nombreux pays | <ul style="list-style-type: none"> • Prix élevé • Disponibilité fluctuante • Généralement non employé dans le processus de cuisson |

6. OPPORTUNITÉS DE PRÉVENTION DE LA POLLUTION DANS LE SECTEUR DE LA CÉRAMIQUE DE CONSTRUCTION

Dans l'objectif d'améliorer le comportement écologique des industries du secteur de la céramique de construction, ce chapitre propose la description de certaines actions destinées à la prévention et à la réduction de la pollution générée pendant le processus de fabrication. Toutefois, la viabilité de l'application de ce type de mesure peut être affectée par une série de facteurs dont voici les plus importants :

- Technologie disponible
- Situation économique de l'entreprise

Pour ces raisons, et afin de rédiger un manuel le mieux adapté possible à tous les pays de la région Méditerranée, les actions dont la répercussion économique est importante et que seules les entreprises disposant d'une capacité d'investissement conséquente peuvent adopter n'ont pas été prises en compte. En ce sens, les opportunités sont analysées sur une période d'amortissement de l'investissement à court terme en donnant priorité aux opportunités offrant une réduction de la pollution à la source au détriment de techniques appliquées en bout de chaîne généralement plus onéreuses.

Les opportunités de prévention de la pollution ont été classées en fonction des points ci-dessous.

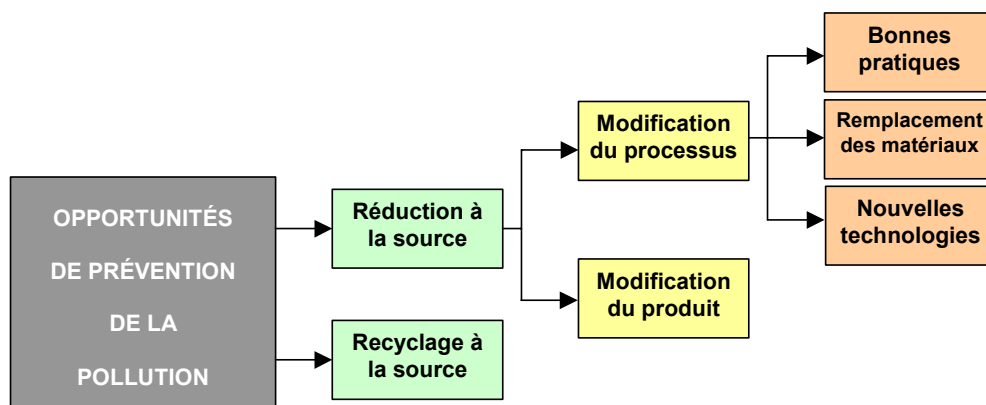


Figure 6.1 : Classement des opportunités de prévention de la pollution

Où :

- **Réduction à la source** : éliminer ou réduire la pollution (ou son niveau de danger pour le milieu) avant même son apparition en modifiant le processus, en appliquant des bonnes pratiques, en remplaçant les matériaux et les produits, ou en utilisant des technologies plus respectueuses de l'environnement.
- **Recyclage** : opportunité dans laquelle le flux de déchets est réutilisé sur le site ou dans un autre processus (on parle de recyclage à la source lorsque la réutilisation a lieu sur le centre de production).

Les aspects suivants seront évalués pour chaque opportunité de prévention de la pollution :

Tableau 6.1 : Schéma de base de chacune des opportunités de prévention de la pollution

| OPPORTUNITÉ-N : TITRE DE L'OPPORTUNITÉ | | | |
|---|---|---|---|
| Type d'opportunité | Classement de l'opportunité selon figure 3.11 | | |
| Opération | Opération sur laquelle s'applique cette opportunité | Aspect visé | Aspect environnemental visé par l'opportunité |
| Problématique environnementale | | | |
| Description de la situation environnementale rattachée au besoin d'amélioration | | | |
| Opportunité de prévention | | Viabilité économique | |
| Description de l'opportunité de prévention | | Évaluation qualitative des répercussions économiques de l'application de l'amélioration | |
| | | Bilan environnemental | |
| | | Évaluation qualitative des avantages et inconvénients environnementaux relatifs à l'application de l'amélioration | |

Tableau 6.2 : Liste des opportunités de prévention de la pollution

| | OPPORTUNITÉS DE PRÉVENTION DE LA POLLUTION | TYPE D'OPPORTUNITÉ |
|------|---|---------------------------|
| 0-1 | Réduction des émissions diffuses découlant de la circulation des véhicules | Réduction à la source |
| 0-2 | Utilisation de combustibles solides moins polluants pendant la cuisson | |
| 0-3 | Formation du personnel de maintenance | |
| 0-4 | Facilitation de la gestion des déchets | |
| 0-5 | Diminution de la production de déchets dangereux | |
| 0-6 | Nettoyage à sec | |
| 0-7 | Contrôle régulier des machines | Bonnes pratiques |
| 0-8 | Installation de régulateurs sur les tuyaux utilisés pour l'arrosage des produits finis | |
| 0-9 | Régulation de la quantité d'air introduite dans le four | |
| 0-10 | Contrôle de l'eau utilisée pour le malaxage | |
| 0-11 | Contrôle des pertes dans les circuits hydrauliques et pneumatiques | |
| 0-12 | Réutilisation du produit avant cuisson | Recyclage à la source |
| 0-13 | Récupération des gaz chauds produits par le four pour leur réintroduction dans le séchoir | Modification du processus |
| 0-14 | Réduction des émissions diffuses lors du stockage de la matière première et/ou du combustible | |
| 0-15 | Diminution des émissions diffuses générées hors de l'usine | |
| 0-16 | Utilisation de la cogénération pour la production de vapeur | Nouvelles technologies |
| 0-17 | Mise en place de compteurs de consommation de gaz naturel | |
| 0-18 | Installation de brûleurs à haute vitesse pour le préchauffage du four | |
| 0-19 | Diminution du bruit généré pendant le broyage | |
| 0-20 | Mise en place d'un système d'éclairage à faible consommation | |
| 0-21 | Installation de chasses d'eau à double commande | |
| 0-22 | Améliorations relatives à la distribution d'air dans les séchoirs | |
| 0-23 | Remplacement des moteurs conventionnels par des moteurs à haut rendement | |
| 0-24 | Extrusion en pâte dure | |

6.1. RÉDUCTION À LA SOURCE

Tableau 6.3 : Opportunité de prévention n° 1

| 0-1 RÉDUCTION DES ÉMISSIONS DIFFUSES DÉCOULANT DE LA CIRCULATION DES VÉHICULES | | | |
|--|---------------------------|--|--------------------------|
| Type d'opportunité | Réduction à la source | | |
| Opération | Circulation des véhicules | Aspect visé | Émissions atmosphériques |
| Problématique environnementale | | | |
| Sur de nombreux sites, le sol de la parcelle n'est pas goudronné ce qui entraîne l'émission de poussière lors du passage de camions (matières premières, produits finis, combustibles, etc.) et autres véhicules | | | |
| Opportunité de prévention | | Viabilité économique | |
| <ul style="list-style-type: none"> – Goudronnage de la parcelle – Arrosage du sol de la parcelle | | Le goudronnage de la parcelle ne représente pas une dépense trop élevée pour l'installation | |
| | | Bilan environnemental | |
| | | Diminution des émissions diffuses (particules). Le choix d'un arrosage du sol entraîne une augmentation de la consommation d'eau | |

Il est conseillé de disposer de voies de circulation goudronnées et de maintenir ce revêtement le plus propre possible afin d'éviter toute émission diffuse.

Le fait d'arroser les revêtements sur lesquels se déplacent les véhicules permet de réduire les émissions de poussière, tout particulièrement pendant les saisons sèches.

Tableau 6.4 : Opportunité de prévention n° 2

| 0-2 UTILISATION DE COMBUSTIBLES SOLIDES MOINS POLLUANTS PENDANT LA CUISSON | | | |
|--|-----------------------|--|--------------------------|
| Type d'opportunité | Réduction à la source | | |
| Opération | Cuisson | Aspect visé | Émissions atmosphériques |
| Problématique environnementale | | | |
| Comme stipulé dans le chapitre 5, l'utilisation de combustibles solides pendant la cuisson est très répandue dans le secteur. Par ailleurs, la cuisson de produits céramiques constitue l'opération qui génère le plus de émissions atmosphériques de manière directe (combustion) et indirecte (émissions diffuses en cas de stockage du combustible à ciel ouvert) | | | |
| Opportunité de prévention | | Viabilité économique | |
| Utilisation de combustibles solides efficaces du point de vue environnemental comme le coke micronisé | | L'emploi de coke de pétrole en tant que combustible requiert un changement de technologie (brûleurs du four) associé à des investissements pouvant être amortis à plus ou moins long terme en fonction du type de combustible initialement utilisé | |
| | | Bilan environnemental | |
| | | Diminution des émissions diffuses | |

Comme indiqué au 2.2.3, le coke micronisé est une évolution du coke de pétrole ordinaire. Il réunit une série de caractéristiques intéressantes du point de vue environnemental par rapport aux autres combustibles solides comme le charbon. La taille du grain après broyage (environ 20 microns) facilite son stockage et son approvisionnement.

Le stockage de ce combustible se fait par le biais de silos. Le coke micronisé est acheminé dans le four au moyen de conduites. Il n'entre donc jamais en contact avec l'air ambiant et, par conséquent, ne génère pas de poussière.

Tableau 6.5 : Opportunité de prévention n° 3

| 0-3 FORMATION DU PERSONNEL DE MAINTENANCE | | | |
|--|-----------------------|---|-----------------------|
| Type d'opportunité | Réduction à la source | | |
| Opération | Maintenance | Aspect visé | Production de déchets |
| Problématique environnementale | | | |
| Les opérations de maintenance réalisées sur les installations peuvent constituer une source importante de déchets découlant de mauvaises pratiques lors de la manipulation des différents produits comme l'huile lubrifiante | | | |
| Opportunité de prévention | | Viabilité économique | |
| Éviter tout déversement d'huile | | Cette opportunité ne requiert aucune dépense de la part de l'entreprise | |
| | | Bilan environnemental | |
| | | Diminution de la production de déchets | |

Les entreprises du secteur de la céramique utilisent de l'huile lubrifiante pour la maintenance des machines impliquées dans le processus. Les éléments mis en contact avec les éventuels déversements dus à une mauvaise manipulation (chiffons sales, sciure, etc.) doivent être considérés et traités comme des déchets dangereux. Il en est de même pour les récipients d'huile dont le traitement est abordé dans la description de l'opportunité n° 5.

L'organisation de formations auprès du personnel sur les méthodes de manipulation de cette huile permet d'éviter la production d'un nombre important de déchets considérés et traités comme dangereux. Leur quantité à la source ainsi que leur coût de gestion s'en voient ainsi réduits.

Tableau 6.6 : Opportunité de prévention n° 4

| 0-4 FACILITATION DE LA GESTION DES DÉCHETS | | | |
|---|-----------------------|--|-----------------------|
| Type d'opportunité | Réduction à la source | | |
| Opération | Toutes | Aspect visé | Production de déchets |
| Problématique environnementale | | | |
| La production de déchets au sein du processus de fabrication de produits céramiques | | | |
| Opportunité de prévention | | Viabilité économique | |
| Application de mesures permettant de diminuer la quantité de déchets générés ou de faciliter leur transport et leur gestion | | Cette opportunité repose sur l'application de bonnes pratiques ne représentant aucune dépense supplémentaire pour l'entreprise | |
| | | Bilan environnemental | |
| | | Diminution de la production de déchets/Facilitation de leur gestion | |

Comme indiqué au point 5.6, le secteur de la céramique de construction ne génère que qu'une variété limitée de déchets mais la quantité de certains d'entre eux peut être significative. Il est donc important de mettre en œuvre une série de bonnes pratiques à caractère général permettant de réduire ces déchets à la source ou, à défaut, de faciliter leur transport et leur gestion.

Ces bonnes pratiques sont les suivantes :

1. Contrôle approprié des produits stockés
2. Emploi de réservoirs réutilisables pour les produits usités en grandes quantités
3. Dans le cas où le site dispose d'un laboratoire, éviter le déversement de substances résiduelles dans le réseau général en effectuant une collecte sélective et une gestion ultérieure des déchets
4. Retirer les déchets solides à sec pour faciliter leur transport et leur gestion
5. Collecter les déchets destinés au recyclage en mettant en place des conteneurs clairement identifiés pour chaque type de déchet à proximité de leur lieu de production
6. Compacter les déchets d'emballage en vue d'économiser de l'espace dans l'entrepôt et de diminuer le coût de leur transport
7. Signaler et étiqueter les produits ou déchets dangereux de manière appropriée
8. Formation et sensibilisation du personnel

Tableau 6.7 : Opportunité de prévention n° 5

| 0-5 DIMINUTION DE LA PRODUCTION DE DÉCHETS DANGEREUX | | | |
|--|--------------------------|---|-----------------------|
| Type d'opportunité | Réduction à la source | | |
| Opération | Maintenance des machines | Aspect visé | Production de déchets |
| Problématique environnementale | | | |
| La maintenance réalisée sur les machines utilisées dans le processus est à l'origine d'une consommation de quantités significatives de bidons d'huile qui doivent être traités en tant que déchets dangereux | | | |
| Opportunité de prévention | | Viabilité économique | |
| Consommation d'emballages affichant une capacité plus importante | | La consommation d'emballages de plus grande capacité entraîne une économie (bien que peu significative), puisque la quantité d'emballages à gérer est plus faible | |
| | | Bilan environnemental | |
| | | Diminution de la production de déchets | |

Comme nous l'avons évoqué pour l'opportunité n° 5, la maintenance des machines employées dans le processus de fabrication de matériaux céramiques se traduit par une consommation considérable d'huile lubrifiante. Ceci a pour conséquence la production d'emballages considérés comme déchets dangereux selon le catalogue européen des déchets (CED) et qui doivent donc être gérés en fonction de leur nature et collectés par un gestionnaire agréé (source de coût supplémentaire).

Une méthode permettant de diminuer ce type de déchets consiste à acheter l'huile au fournisseur dans des emballages de plus grande capacité de manière à réduire la production de déchets dangereux ainsi que le coût de la collecte par les gestionnaires compétents.

Tableau 6.8 : Opportunité de prévention n° 6

| 0-6 NETTOYAGE À SEC | | | |
|--|-----------------------|---|------------------------------|
| Type d'opportunité | Réduction à la source | | |
| Opération | Nettoyage | Aspect visé | Production d'eaux résiduares |
| Problématique environnementale | | | |
| Une grande quantité de poussière est générée pendant le processus de fabrication des produits céramiques. Celle-ci est retirée par l'équipe de nettoyage du site. Sur certaines installations, cette opération est réalisée par arrosage des sols, contribuant ainsi à la production d'eaux résiduares | | | |
| Opportunité de prévention | | Viabilité économique | |
| Nettoyage à sec | | Les équipements de nettoyage par aspiration ne représentent pas un investissement élevé | |
| | | Bilan environnemental | |
| | | Diminution de la production d'eaux résiduares | |

La manipulation de l'argile au cours des différentes opérations produit une quantité importante de poussière au sein des installations du secteur de la céramique.

De ce fait, le nettoyage par arrosage entraîne la production d'une quantité appréciable d'eaux résiduares. Il est donc recommandé de réaliser cette opération au moyen d'aspirateurs à poussière.

6.2. BONNES PRATIQUES

Tableau 6.9 : Opportunité de prévention n° 7

| 0-7 CONTRÔLE RÉGULIER DES MACHINES | | | |
|--|------------------|--|------|
| Type d'opportunité | Bonnes pratiques | | |
| Opération | Toutes | Aspect visé | Tous |
| Problématique environnementale | | | |
| Le manque de maintenance des machines peut entraîner des émissions d'agents polluants associées à une hausse de la production de déchets et, la plupart du temps, à une augmentation de la consommation électrique due à la présence de fuites | | | |
| Opportunité de prévention | | Viabilité économique | |
| Une maintenance régulière des machines utilisées dans le processus permet de garantir un fonctionnement correct de ces dernières. Cette maintenance dépend des caractéristiques spécifiques de chaque installation et du type de technologie dont elle dispose | | Si la maintenance est menée à bien par le personnel interne, les coûts sont plus faibles que si cette opération est confiée à un prestataire extérieur | |
| | | Bilan environnemental | |
| | | Une maintenance appropriée des machines se traduit par une réduction des polluants au niveau des principales sources associée à une production plus faible de déchets et à une consommation électrique moindre | |

Étant donné le nombre important de machines impliquées dans le processus de fabrication de matériaux céramiques de construction, une maintenance appropriée s'avère indispensable. Elle constitue également une excellente solution pour réduire les émissions et obtenir un meilleur rendement.

Le tableau suivant contient des exemples de machines utilisées dans le processus et décrit la procédure de maintenance optimale associée à chacune.

Tableau 6.10 : Maintenance des machines

| MACHINE | OPÉRATIONS | MAINTENANCE | COMMENTAIRES |
|---------------------------|---------------------------------------|---|---|
| Broyeur à marteaux | Broyage de l'argile | Contrôle de rupture du tamis | Le remplacement du tamis avant rupture permet d'éviter la pollution des silos due à l'introduction de poussière contenant des impuretés |
| Malaxeur | Malaxage | Régulation de la quantité d'eau mélangée | Si la teneur en eau de l'argile est optimale, la pièce façonnée ne présente pas d'excès d'humidité (consommation moindre d'énergie dans le séchoir) |
| Convoyeurs | Transport de l'argile au sein du site | Nettoyage des convoyeurs | L'argile sèche adhère à la bande et se décolle par la suite, produisant un déchet |
| Extrudeuse | Moulage du matériau | Maintenance des plaques ou des peignes ainsi que des disques en étoile à l'entrée de la chambre sous vide | Une désaération appropriée permet l'obtention de pièces aux caractéristiques correctes |

Tableau 6.11 : Opportunité de prévention n° 8

| 0-8 INSTALLATION DE RÉGULATEURS SUR LES TUYAUX UTILISÉS POUR L'ARROSAGE DES PRODUITS FINIS | | | |
|---|-----------------------------|--|--|
| Type d'opportunité | Bonnes pratiques | | |
| Opération | Arrosage des produits finis | Aspect visé | Consommation d'eau/Production d'eaux résiduaires |
| Problématique environnementale | | | |
| Après cuisson du matériau, le produit est parfois arrosé en vue de lui conférer la consistance exigée par le client. L'eau qui entre en contact avec le matériau se charge en particules qui se détachent du matériau, ce qui a pour conséquence la production d'eaux résiduaires | | | |
| Opportunité de prévention | | Viabilité économique | |
| La mise en place de régulateurs sur les tuyaux d'arrosage permet de contrôler à tout moment la quantité d'eau aspergée. En outre, ces dispositifs offrent la possibilité de couper l'arrivée d'eau sans avoir à fermer les robinets | | L'installation de ce type de régulateurs requiert un investissement très faible à la portée de tout type d'entreprise | |
| | | Bilan environnemental | |
| | | Ce type d'action entraîne une diminution de la consommation d'eau associée à une production moindre d'eaux résiduaires | |

Comme indiqué au point 4.5, l'arrosage des produits finis est l'opération durant laquelle la production d'eaux résiduaires est la plus abondante au sein de toute l'industrie de la céramique de construction. En effet, les autres opérations consomment la totalité de l'eau introduite et ne génèrent donc aucun excédent (le broyage par voie semi-humide ou le malaxage par exemple).

Différents types de régulateurs sont disponibles sur le marché. Ils peuvent varier en fonction de leur taille et de la pression. Ces dispositifs permettent de contrôler la quantité et la pression de l'eau projetée et, si nécessaire, de couper l'arrivée de cette dernière sans avoir à fermer le robinet correspondant. Il est alors possible d'appliquer à tout moment la quantité d'eau souhaitée et ainsi, de minimiser la consommation et la production d'eaux résiduaires.

Tableau 6.12 : Opportunité de prévention n° 9

| 0-9 RÉGULATION DE LA QUANTITÉ D'AIR INTRODUITE DANS LE FOUR | | | |
|--|------------------|---|--------------------------|
| Type d'opportunité | Bonnes pratiques | | |
| Opération | Cuisson | Aspect visé | Émissions atmosphériques |
| Problématique environnementale | | | |
| Une mauvaise combustion dans le four de cuisson peut entraîner la présence d'imbrûlés (principalement du CO) causée par un défaut d'air lors du processus | | | |
| Opportunité de prévention | | Viabilité économique | |
| Il est nécessaire de maintenir un flux d'air important à l'intérieur du four afin de garantir une cuisson optimale. Le flux d'air permet de distribuer la chaleur de façon rapide et uniforme dans toute la chambre du four. Le combustible est alors consommé dans sa totalité, entraînant une diminution voire une élimination des imbrûlés dans les émissions | | Le contrôle du débit d'air introduit dans le four par un opérateur ne comporte aucune dépense supplémentaire pour l'entreprise | |
| | | Bilan environnemental | |
| | | <ul style="list-style-type: none"> - Diminution considérable de la présence d'imbrûlés dans les gaz provenant de la cuisson - Économie de combustible | |

La régulation de la quantité d'air introduite dans le four de cuisson nécessaire à la combustion représente un aspect extrêmement important dans le secteur de la céramique. La présence d'un excès de CO dans les gaz de combustion est le résultat d'une combustion incomplète.

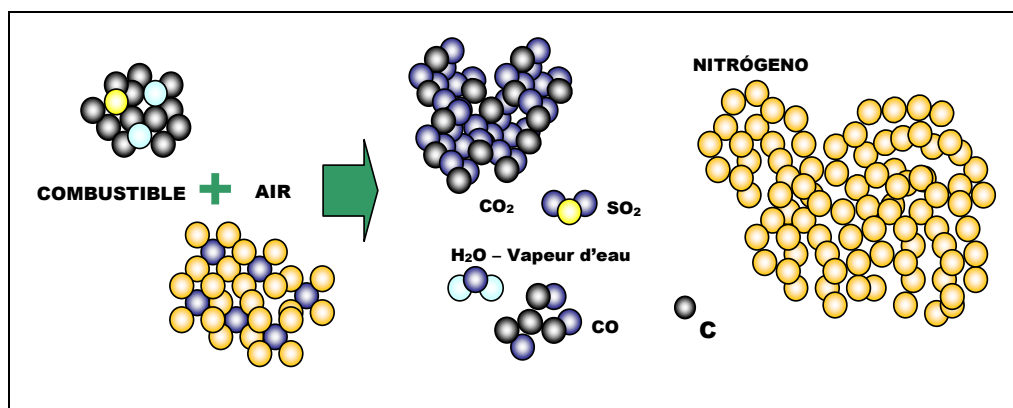


Figure 6.2 : Combustion en défaut d'air

Tableau 6.13 : Opportunité de prévention n° 10

| 0-10 CONTRÔLE DE L'EAU UTILISÉE POUR LE MALAXAGE | | | |
|---|------------------|--|------------------------|
| Type d'opportunité | Bonnes pratiques | | |
| Opération | Malaxage | Aspect visé | Consommation d'énergie |
| Problématique environnementale | | | |
| Le malaxage consiste à mélanger de l'argile broyée à de l'eau qui sera entièrement consommée. Cependant, un excès d'humidité dans la pâte argileuse entraîne une hausse de la consommation d'énergie pendant le séchage | | | |
| Opportunité de prévention | | Viabilité économique | |
| Réglage optimal de l'introduction d'eau lors du malaxage | | L'exploitation de cette opportunité n'est associée à aucune dépense supplémentaire | |
| | | Bilan environnemental | |
| | | Réduction de la consommation d'énergie du séchoir | |

L'introduction de la quantité optimale d'eau de malaxage nécessaire à l'obtention d'un taux d'humidité constant en sortie d'extrudeuse permet de réduire la teneur en eau de l'argile de sorte que la consommation d'énergie du séchoir soit plus faible.

Cette pratique ne mobilise que très peu de personnel et n'implique pas de dépense importante. Après avoir procédé à l'optimisation du taux d'humidité de la pièce en sortie d'extrudeuse en fonction des caractéristiques de l'installation (type d'argile employé, type de séchoir, etc.), il suffit de contrôler régulièrement que l'apport d'eau est adéquat.

Tableau 6.14 : Opportunité de prévention n° 11

| 0-11 CONTRÔLE DES PERTES DANS LES CIRCUITS HYDRAULIQUES ET PNEUMATIQUES | | | |
|--|---|--|------------------------|
| Type d'opportunité | Bonnes pratiques | | |
| Alcance | Organes de commande des circuits hydrauliques et pneumatiques | Aspect visé | Consommation d'énergie |
| Problématique environnementale | | | |
| Les pertes générées au sein des organes de commande des circuits hydrauliques et pneumatiques peuvent représenter 25 à 30 % de la puissance consommée par les pompes et ventilateurs | | | |
| Opportunité de prévention | | Viabilité économique | |
| – Révision régulière des équipements | | La révision des équipements peut être effectuée par les opérateurs de l'entreprise sans aucun coût additionnel | |
| | | Bilan environnemental | |
| | | Amélioration du rendement et réduction de la consommation d'énergie | |

Parallèlement à la révision des équipements, il existe d'autres mesures destinées à minimiser et contrôler les pertes décrites au point 7.2 (exemples de cas pratiques).

6.3. RECYCLAGE À LA SOURCE

Tableau 6.15 : Opportunité de prévention n° 12

| 0-12 RÉUTILISATION DU PRODUIT AVANT CUISSON | | | |
|--|-----------------------|---|-----------------------|
| Type d'opportunité | Recyclage à la source | | |
| Opération | Moulage | Aspect visé | Production de déchets |
| Problématique environnementale | | | |
| <p>Le moulage permet de conférer la forme recherchée à la pièce. La production de morceaux de pâte argileuse excédentaire est relativement courante</p> <p>Par ailleurs, l'empilage des pièces en sortie de boudineuse permet de détecter les pièces défectueuses qui doivent être retirées avant leur introduction dans le séchoir</p> | | | |
| Opportunité de prévention | | Viabilité économique | |
| <p>Il est avant tout possible de mettre en place une série de conteneurs dans les zones susceptibles de voir s'accumuler ce type de déchet afin que ces derniers puissent être stockés à l'abri de tout agent polluant</p> <p>Il est également envisageable de détecter et de retirer les pièces défectueuses pour les réintroduire aussitôt dans le malaxeur et ainsi réutiliser un matériau ayant conservé toutes ses qualités</p> | | <p>La réintroduction du matériau peut se faire manuellement ou automatiquement</p> <p>L'investissement nécessaire à cette dernière option est évidemment plus élevé</p> <p>L'installation de conteneurs dans les zones spécifiques de l'entreprise/usine n'implique pas de dépenses financières importantes</p> | |
| | | Bilan environnemental | |
| | | La réutilisation du matériau dans le processus permet de réduire la production de déchets | |

La photo ci-dessous représente un conteneur de produits défectueux situé dans la zone d'empilage et dont le contenu peut être réutilisé après le malaxeur.



Photo 6.1 : Produits défectueux après moulage

6.4. MODIFICATION DU PROCESSUS

Tableau 6.16 : Opportunité de prévention n° 13

| 0-13 RÉCUPÉRATION DES GAZ CHAUDS PRODUITS PAR LE FOUR POUR LEUR RÉINTRODUCTION DANS LE SÉCHOIR | | | |
|--|---------------------------|--|--|
| Type d'opportunité | Modification du processus | | |
| Opération | Cuisson/Séchage | Aspect visé | Émissions atmosphériques/Consommation de combustible |
| Problématique environnementale | | | |
| Dans de nombreuses installations du secteur, le séchage est réalisé par le biais de brûleurs à gaz naturel, à biomasse ou autres combustibles. Ce type de séchoir entraîne donc le rejet de gaz de combustion, de particules, etc. en plus ou moins grande proportion suivant le combustible employé | | | |
| Opportunité de prévention | | Viabilité économique | |
| Utilisation des gaz de combustion pour le séchoir | | La viabilité économique de ce type d'infrastructure dépend de la distance entre le four et le séchoir ainsi que des caractéristiques de l'installation. L'investissement est généralement peu élevé | |
| | | Bilan environnemental | |
| | | Cette réutilisation permet de réduire l'émission de polluants dans l'atmosphère tout en diminuant la consommation totale de combustible dans l'entreprise. Un autre aspect à souligner est l'émission atmosphérique de gaz sans chaleur résiduaire | |

Il s'agit d'une technique de plus en plus répandue dans les installations récentes étant donné qu'elle est très facile à intégrer dès la conception du projet.

Cependant, l'agencement des machines sur le site et leurs caractéristiques déterminent dans une large mesure la viabilité de l'installation de ce type de système.

Cette opportunité fournit généralement d'excellents résultats bien que sa mise en œuvre oblige parfois l'entreprise à installer des brûleurs supplémentaires pour un séchage optimal du matériau.

Tableau 6.17 : Opportunité de prévention n° 14

| 0-14 RÉDUCTION DES ÉMISSIONS DIFFUSES LORS DU STOCKAGE DE LA MATIÈRE PREMIÈRE ET/OU DU COMBUSTIBLE | | | |
|--|---------------------------|--|--------------------------|
| Type d'opportunité | Modification du processus | | |
| Opération | Stockage de l'argile | Aspect visé | Émissions atmosphériques |
| Problématique environnementale | | | |
| Le stockage de la matière première et/ou du combustible à l'extérieur de l'installation représente une source importante d'émissions diffuses de poussière | | | |
| Opportunité de prévention | | Viabilité économique | |
| <ul style="list-style-type: none"> – Stockage en hangar fermé ou en trémie de stockage – Barrière de protection contre le vent – Asperseurs d'eau | | L'investissement varie en fonction de l'action corrective mise en place. L'installation de barrières de protection contre le vent requiert un faible investissement et est idéale pour les entreprises qui stockent leurs produits à ciel ouvert | |
| | | Bilan environnemental Diminution de la quantité d'émissions diffuses (particules) | |

Les émissions diffuses sont généralement le résultat du développement normal de l'activité de production sans qu'un point d'émission précis puisse être défini. Dans le secteur de la céramique de construction, elles sont généralement produites lors du stockage de la matière première et/ou du combustible et par le déplacement de véhicules à l'intérieur du site (cette opportunité est analysée dans ce manuel sous la référence 0-1).

Les principales actions pouvant être entreprises pour éviter les émissions diffuses lors du stockage de la matière première et/ou du combustible sont les suivantes :

- **Élimination du stockage extérieur en terrils.** Le stockage extérieur de matières pulvérulentes en terrils peut être remplacé par un stockage en hangar fermé ou au moyen de trémies de stockage, entraînant une diminution importante des émissions diffuses.



Photo 6.2 : Stockage de la matière première en hangar fermé

- **Barrières de protection contre le vent des zones de stockage à ciel ouvert.** Si le stockage extérieur en terrils s'avère difficile à remplacer, il est possible de réduire les émissions diffuses de poussière en utilisant des barrières de protection contre le vent conçues en fonction de chaque cas spécifique.
- **Asperseurs d'eau.** Dans les cas où la source de poussière est parfaitement localisée, il est possible d'installer un système d'arrosage à l'eau au moyen d'un dispositif de projection par asperseurs. L'application de cette méthode diminue considérablement l'émission de particules même si elle entraîne la production d'eaux résiduaires.



Photo donnée par Cerámica Espíritu Santo, SA

Photo 6.3 : Asperseurs d'eau pour le déchargement de la matière première

Tableau 6.18 : Opportunité de prévention n° 15

| 0-15 DIMINUTION DES ÉMISSIONS DIFFUSES GÉNÉRÉES HORS DE L'USINE | | | |
|--|--|--|--------------------------|
| Type d'opportunité | Modification du processus | | |
| Opération | Transport d'argile au sein de l'installation | Aspect visé | Émissions atmosphériques |
| Problématique environnementale | | | |
| Dans de nombreuses installations, le transport de l'argile à l'extérieur de l'usine se fait au moyen de convoyeurs à bande (cf. point 3.2) qui, par leur mouvement, génèrent de la poussière | | | |
| Opportunité de prévention | | Viabilité économique | |
| Mise en place d'éléments de capotage sur les côtés des convoyeurs | | L'application de ce type de mesure représente un investissement plus élevé pour les installations existantes que pour les entreprises en phase de conception | |
| | | Bilan environnemental | |
| | | Réduction des émissions diffuses générées à l'extérieur de l'usine | |

La photo ci-dessous représente un convoyeur à bande équipé d'éléments de capotage permettant d'empêcher l'émission de poussière pendant le transport de l'argile.



Photo donnée par Cerámica Carbonell
 Photo 6.4 : Convoyeur à bande capoté destiné au transport de l'argile

6.5. NOUVELLES TECHNOLOGIES

Tableau 6.19 : Opportunité de prévention n° 16

| 0-16 UTILISATION DE LA COGÉNÉRATION POUR LA PRODUCTION DE VAPEUR | | | |
|---|---|---|--|
| Type d'opportunité | Nouvelles technologies | | |
| Opération | Malaxage/Séchage/Production d'électricité pour l'installation | Aspect visé | Émissions atmosphériques/Consommation de combustible |
| Problématique environnementale | | | |
| La majorité des machines utilisées dans le processus consomment de l'électricité distribuée principalement par le réseau d'alimentation | | | |
| Opportunité de prévention | | Viabilité économique | |
| Installation de moteurs de cogénération pouvant subvenir aux besoins du processus en électricité et énergie thermique sans recourir au réseau électrique public | | L'investissement de départ est élevé mais le rendement d'un moteur de cogénération l'est aussi. Possibilité de revente de l'énergie électrique excédentaire produite | |
| | | Bilan environnemental | |
| | | Cette opportunité entraîne une consommation de combustible et des émissions atmosphériques, mais les moteurs de cogénération sont plus efficaces que les moteurs conventionnels car ils permettent d'obtenir davantage d'énergie pour une consommation de combustible identique | |

Il convient de souligner l'existence de plusieurs modèles de moteurs de cogénération généralement alimentés au fioul ou au gaz naturel. Ces derniers affichent dans l'ensemble des émissions moindres que les moteurs de cogénération fonctionnant au fioul.

L'énergie fournie par la cogénération au sein des industries du secteur de la céramique peut être employée sous les formes suivantes :

- a) Air chaud pour le séchoir
- b) Gaz chauds de combustion (lorsque l'installation dispose d'un four de préchauffage)
- c) Vapeur pour le malaxage (lorsque l'installation fournie l'humidité à l'argile par le biais de vapeur)

Par conséquent, les moteurs de cogénération sont rentables pour les installations qui impliquent un processus présentant les caractéristiques décrites précédemment et pouvant tirer un profit maximum de l'énergie produite.

La production de bruit pendant le fonctionnement de certains moteurs relativement anciens ou n'ayant pas bénéficié d'une maintenance régulière constitue un autre aspect environnemental à prendre en compte.

Tableau 6.20 : Opportunité de prévention n° 17

| 0-17 MISE EN PLACE DE COMPTEURS DE CONSOMMATION DE GAZ NATUREL | | | |
|--|------------------------|---|--|
| Type d'opportunité | Nouvelles technologies | | |
| Opération | Cuisson/Séchage | Aspect visé | Consommation de combustible/Émissions atmosphériques |
| Problématique environnementale | | | |
| En règle générale, les installations qui utilisent le gaz naturel dans leur processus sont équipées d'un compteur chargé de calculer la consommation globale de l'usine. Ceci entraîne une méconnaissance de la consommation individuelle de gaz de chacune des opérations et des machines employées | | | |
| Opportunité de prévention | | Viabilité économique | |
| Installation d'un compteur au niveau de chaque opération faisant appel au gaz naturel | | Cette opportunité ne représente pas une dépense élevée sur les nouvelles installations. En revanche, sur les anciennes installations, l'investissement dépend des caractéristiques physiques du site | |
| | | Bilan environnemental | |
| | | Le contrôle individuel de la consommation de gaz naturel permet d'identifier l'opération qui consomme le plus de combustible ainsi que de détecter les hausses de consommation et appliquer les mesures correctives si nécessaire | |

Dans un secteur où les coûts énergétiques peuvent représenter 30 à 40 % des coûts de fabrication, la mise en place de mesures de contrôle de consommation entraîne une économie d'énergie non négligeable.

Le contrôle des consommations et l'adoption de mesures visant à les réduire peuvent entraîner des économies d'énergie par le simple fait de maintenir les paramètres du processus à leur valeur optimale tout au long de la période de fonctionnement.

L'installation de compteurs sur les machines fonctionnant au gaz naturel permet d'identifier celles qui consomment le plus, de détecter toute variation de consommation et de définir d'autres aspects susceptibles d'aider l'entreprise à appliquer des mesures correctives.

La photo suivante représente un compteur de gaz installé sur une conduite affichant le volume de gaz consommé :



Photo donnée par Cerámica Ladislao Laguna

Photo 6.5 : Compteur de gaz naturel

Sur le marché, il existe différents types de compteurs dont le prix varie en fonction du degré de sophistication et des informations qu'ils fournissent. Le modèle représenté sur la photo indique, entre autres, le volume de gaz dans les conditions de mesure réelles, le volume de gaz ramené aux conditions standard de température et de pression, le débit et le facteur de compressibilité.

Tableau 6.21 : Opportunité de prévention n° 18

| 0-18 INSTALLATION DE BRÛLEURS À HAUTE VITESSE POUR LE PRÉCHAUFFAGE DU FOUR | | | |
|--|------------------------|--|-----------------------------|
| Type d'opportunité | Nouvelles technologies | | |
| Opération | Cuisson | Aspect visé | Consommation de combustible |
| Problématique environnementale | | | |
| Le four de cuisson constitue la source la plus importante de consommation de combustible. Une hausse de cette dernière entraîne davantage d'émissions atmosphériques et une productivité moindre | | | |
| Opportunité de prévention | | Viabilité économique | |
| Installation de brûleurs à haute vitesse pour le préchauffage du four | | L'installation de ce type de technologie ne peut être effectuée que sur les fours tunnels | |
| | | Sur les installations existantes, cette technologie représente un investissement modéré même s'il convient de souligner qu'elle est associée à une augmentation de la productivité | |
| | | Bilan environnemental | |
| | | Diminution de la consommation de combustible accompagnée d'une réduction des émissions atmosphériques | |

Tableau 6.22 : Opportunité de prévention n° 19

| 0-19 DIMINUTION DU BRUIT GÉNÉRÉ PENDANT LE BROYAGE | | | |
|---|------------------------|--|---------------------|
| Type d'opportunité | Nouvelles technologies | | |
| Opération | Broyage | Aspect visé | Production de bruit |
| Problématique environnementale | | | |
| Le broyage réalisé pendant la fabrication de produits céramiques génère une quantité importante de bruit dû au concassage de l'argile | | | |
| Opportunité de prévention | | Viabilité économique | |
| Capotage du broyeur | | L'investissement nécessaire à la mise en place de ce type de mesure est amortissable à moyen terme | |
| | | Bilan environnemental | |
| | | Diminution du bruit généré | |

Il existe différentes techniques de capotage des machines, mais la plus employée et la plus efficace est le capotage étanche disponible pour les machines fixes situées à l'intérieur de l'entreprise.

Il s'agit d'une structure qui recouvre ou entoure la source sonore (ici, le broyeur) pour protéger le milieu.

Tableau 6.23 : Opportunité de prévention n° 20

| 0-20 MISE EN PLACE D'UN SYSTÈME D'ÉCLAIRAGE À FAIBLE CONSOMMATION | | | |
|--|------------------------|--|-------------------------|
| Type d'opportunité | Nouvelles technologies | | |
| Portée | Ensemble du site | Aspect visé | Consommation électrique |
| Problématique environnementale | | | |
| L'éclairage du site implique une consommation significative d'électricité | | | |
| Opportunité de prévention | | Viabilité économique | |
| Remplacement du système d'allumage et du type d'ampoule par un système plus efficace | | L'investissement relatif à l'installation de ces systèmes est amortissable à court terme | |
| | | Bilan environnemental | |
| | | Réduction de la consommation d'électricité | |

Les actions mises en œuvre pour l'installation de ce type de système reposent sur deux aspects :

- Mise en place de ballasts électroniques sur les luminaires à lampe fluorescente dotés d'un mécanisme d'allumage par réactance et starter
- Remplacement des lampes à vapeur de mercure par des lampes à vapeur de sodium haute pression

Tableau 6.24 : Opportunité de prévention n° 21

| 0-21 INSTALLATION DE CHASSES D'EAU À DOUBLE COMMANDE | | | |
|---|------------------------|---|--------------------|
| Type d'opportunité | Nouvelles technologies | | |
| Opération | Séchage | Aspect visé | Consommation d'eau |
| Problématique environnementale | | | |
| Consommation excessive d'eau dans les toilettes | | | |
| Opportunité de prévention | | Viabilité économique | |
| Installation de chasses d'eau à double commande | | Retour sur investissement à court terme | |
| | | Bilan environnemental | |
| | | Diminution de la consommation d'eau | |

La mise en place de chasses d'eau à double commande dans les toilettes de l'entreprise est de plus en plus répandue dans le secteur industriel car cette technique entraîne une diminution significative de la consommation d'eau et permet un retour sur investissement à court terme.

Tableau 6.25 : Opportunité de prévention n° 22

| 0-22 AMÉLIORATIONS RELATIVES À LA DISTRIBUTION D'AIR DANS LES SÉCHOIRS | | | |
|--|------------------------|---|------------------------|
| Type d'opportunité | Nouvelles technologies | | |
| Opération | Séchage | Aspect visé | Consommation d'énergie |
| Problématique environnementale | | | |
| La distribution de l'air dans l'enceinte du séchoir peut ne pas être uniforme provoquant alors des pertes de chaleur associées à une hausse de la consommation d'énergie | | | |
| Opportunité de prévention | | Viabilité économique | |
| Installation de ventilateurs coniques de distribution de chaleur | | Le coût d'installation de ce type de ventilateur est légèrement supérieur à celui des ventilateurs conventionnels | |
| | | Bilan environnemental | |
| | | Réduction de la consommation d'énergie lors du séchage | |

Sur les séchoirs de type tunnel continus ou discontinus, l'air est injecté par le dôme de l'enceinte. La mise en place de ventilateurs coniques permet d'optimiser l'entrée d'air chaud en la répartissant tout au long de l'étagère. Ainsi, la chaleur est uniformément distribuée, favorisant une baisse de la consommation d'énergie.

La photo ci-dessous représente un ventilateur dit conique installé dans un séchoir à briques. Sa forme le distingue des ventilateurs conventionnels³.

³ Cf. point 3.5



Source : Gouvernement d'Andalousie
Photo 6.6 : Ventilateurs coniques

Tableau 6.26 : Opportunité de prévention n° 23

| 0-23 REMPLACEMENT DES MOTEURS CONVENTIONNELS PAR DES MOTEURS À HAUT RENDEMENT | | | |
|---|--|---|------------------------|
| Type d'opportunité | Nouvelles technologies | | |
| Opération | Toute opération faisant appel à des machines équipées de moteurs | Aspect visé | Consommation d'énergie |
| Problématique environnementale | | | |
| L'industrie du secteur de la céramique de construction fait appel à des moteurs à puissance élevée (supérieure à 100 et 200 CV en règle générale) affichant une consommation d'électricité considérable | | | |
| Opportunité de prévention | | Viabilité économique | |
| Remplacement des moteurs électriques conventionnels par des moteurs à haut rendement | | En ne prenant en compte que le surcoût de l'équipement, le retour sur investissement varie entre 1 et 2 ans | |
| | | Bilan environnemental | |
| | | Réduction de la consommation d'électricité | |

Tableau 6.27 : Opportunité de prévention n° 24

| 0-24 EXTRUSION EN PÂTE DURE | | | |
|--|------------------------|---|------------------------|
| Type d'opportunité | Nouvelles technologies | | |
| Opération | Extrusion | Aspect visé | Consommation d'énergie |
| Problématique environnementale | | | |
| La consommation d'énergie du séchoir est l'une des plus importantes du processus de fabrication de produits céramiques | | | |
| Opportunité de prévention | | Viabilité économique | |
| Réalisation de l'extrusion en pâte dure | | Le bilan énergétique final est positif, ce qui traduit une économie d'énergie | |
| | | Bilan environnemental | |
| | | Diminution de la consommation d'énergie | |

En utilisant des extrudeuses appliquant une pression plus importante que les machines conventionnelles, il est possible de façonner des pièces céramiques au taux d'humidité plus faible. L'utilisation de séchoirs est alors quasiment facultative.

Cette opportunité est associée à une diminution de la consommation de chaleur pendant le séchage, même si cette dernière se solde par une augmentation de la consommation électrique pendant l'extrusion. Le bilan énergétique global est néanmoins positif.

6.6. TABLEAU RÉCAPITULATIF

Le tableau ci-dessous récapitule les aspects environnementaux visés par chacune des opportunités de prévention de la pollution décrites dans ce manuel.

Tableau 6.28 : Résumé de l'incidence des opportunités de prévention de la pollution sur les aspects environnementaux

| | OPPORTUNITÉS DE PRÉVENTION DE LA POLLUTION | ÉMISSIONS ATMOSPHÉRIQUES | CONSOMMATION D'ÉNERGIE | CONSOMMATION D'EAU | PRODUCTION DE BRUIT | CONSOMMATION DE COMBUSTIBLE | Eaux RÉSIDUAIRES | PRODUCTION DE DÉCHETS |
|------|---|--------------------------|------------------------|--------------------|---------------------|-----------------------------|------------------|-----------------------|
| 0-1 | Réduction des émissions diffuses découlant de la circulation des véhicules | X | | | | | | |
| 0-2 | Utilisation de combustibles solides moins polluants pendant la cuisson | X | | | | | | |
| 0-3 | Formation du personnel de maintenance | | | | | | | X |
| 0-4 | Facilitation de la gestion des déchets | | | | | | | X |
| 0-5 | Diminution de la production de déchets dangereux | | | | | | | X |
| 0-6 | Nettoyage à sec | | | X | | | | |
| 0-7 | Contrôle régulier des machines | X | X | X | X | X | X | X |
| 0-8 | Installation de régulateurs sur les tuyaux utilisés pour l'arrosage des produits finis | | X | | | | X | |
| 0-9 | Régulation de la quantité d'air introduite dans le four | X | | | | | | |
| 0-10 | Contrôle de l'eau utilisée pour le malaxage | | X | | | | | |
| 0-11 | Contrôle des pertes dans les circuits hydrauliques et pneumatiques | | X | | | | | |
| 0-12 | Réutilisation du produit avant cuisson | | | | | | | X |
| 0-13 | Utilisation des gaz chauds du four pour le séchage | X | | | | X | | |
| 0-14 | Réduction des émissions diffuses lors du stockage de la matière première et/ou du combustible | X | | | | | | |
| 0-15 | Diminution des émissions diffuses générées hors de l'usine | X | | | | | | |
| 0-16 | Utilisation de la cogénération pour la production de vapeur | X | | | | X | | |
| 0-17 | Mise en place de compteurs de consommation de gaz naturel | X | | | | X | | |
| 0-18 | Installation de brûleurs à haute vitesse pour le préchauffage du four | | | | | X | | |
| 0-19 | Diminution du bruit généré pendant le broyage | | | | X | | | |
| 0-20 | Mise en place d'un système d'éclairage à faible consommation | | X | | | | | |
| 0-21 | Installation de chasses d'eau à double commande | | | X | | | | |
| 0-22 | Améliorations relatives à la distribution d'air dans les séchoirs | | X | | | | | |
| 0-23 | Remplacement des moteurs conventionnels par des moteurs à haut rendement | | X | | | | | |
| 0-24 | Réalisation de l'extrusion en pâte dure | | X | | | | | |

7. CAS PRATIQUES

Ce chapitre aborde des cas pratiques relatifs à quelques-unes des opportunités de prévention décrites dans le chapitre précédent. Ces exemples fournissent également des informations économiques correspondant aux bénéfices obtenus grâce à l'application de ces opportunités de prévention de la pollution.

Il convient de souligner que ces bénéfices financiers sont susceptibles de varier d'un pays à l'autre en fonction de différents facteurs, tels que le coût des matières premières, de l'énergie consommée, de la main-d'œuvre, etc. Néanmoins, ces cas pratiques offrent une vue d'ensemble des répercussions environnementales et économiques liées à la mise en œuvre des opportunités décrites dans ce manuel.

Les cas pratiques étudiés sont les suivants :

- Utilisation de combustibles solides moins polluants
- Contrôle des pertes dans les circuits hydrauliques et pneumatiques
- Régulation de la quantité d'air introduite dans le four
- Réutilisation du produit avant cuisson
- Utilisation des gaz chauds du four pour le séchage
- Installation de moteurs de cogénération
- Installation de brûleurs à haute vitesse dans le four
- Mise en place d'un système d'éclairage à faible consommation
- Capotage des machines pour la diminution du bruit
- Installation de moteurs à haut rendement

7.1. UTILISATION DE COMBUSTIBLES SOLIDES MOINS POLLUANTS

Contexte

L'utilisation de combustibles solides lors de la cuisson est très répandue dans le secteur. La cuisson de produits céramiques représente l'opération qui génère le plus de émissions atmosphériques par action directe (combustion) et indirecte (émissions diffuses découlant du stockage à ciel ouvert). Leur quantité peut s'avérer relativement élevée en fonction des caractéristiques de l'installation et de l'emplacement du site.

Description

Le coke micronisé est une évolution du coke de pétrole ordinaire. Il réunit une série de caractéristiques intéressantes du point de vue environnemental par rapport aux autres combustibles solides comme le charbon. La taille du grain après broyage (environ 20 microns) facilite son stockage et son approvisionnement.

Le stockage de ce combustible se fait par le biais de silos. Le coke micronisé est acheminé dans le four au moyen de conduites. Il n'entre donc jamais en contact avec l'air ambiant et, par conséquent, ne génère pas de poussière.

Les deux photos ci-dessous représentent respectivement la méthode de distribution du coke de pétrole dans l'installation et la méthode de stockage en silos de ce combustible.



Photo 7.1 : Distribution du coke de pétrole dans l'installation



Photo 7.2 : Stockage du coke de pétrole en silos

Quelle que soit la méthode utilisée, le combustible est isolé de l'extérieur afin d'éviter toute émission (production de particules) dérivée de sa manipulation.

Évaluation

Comme indiqué précédemment, la diminution de 100 % de l'émission de particules peut être obtenue aussi bien lors du stockage que pendant la manipulation du combustible (déchargement des camions).

Du point de vue économique, l'investissement nécessaire pour passer à l'emploi de coke micronisé dépend du type de combustible utilisé à l'origine dans le four. Le tableau ci-dessous indique le retour sur investissement associé à chaque type de combustible initialement utilisé.

Tableau 7.1 : Délai de retour sur investissement en fonction du combustible utilisé à l'origine

| COMBUSTIBLE UTILISÉ À L'ORIGINE | DÉLAI DE RETOUR SUR INVESTISSEMENT |
|---------------------------------|------------------------------------|
| Gaz naturel | 18 mois |
| Charbon | Estimation non disponible |
| Fioul | 20 mois |

Sur la base d'une production de 300 t/jour

7.2. CONTRÔLE DES PERTES DANS LES CIRCUITS HYDRAULIQUES ET PNEUMATIQUES

Contexte

Les pertes enregistrées sur les organes de commande des circuits hydrauliques et pneumatiques peuvent représenter 25 à 30 % de la puissance consommée par les pompes et ventilateurs, se traduisant par une consommation d'électricité considérable.

Description

Il existe différentes actions destinées à minimiser et contrôler ces pertes :

- a) Révision régulière des équipements réalisée par le personnel de l'entreprise
- b) Installation de moteurs à vitesse variable
- c) Mise en place de déflecteurs d'entrée

Par ailleurs, l'isolation des conduites de circulation de vapeur ou d'air chaud constitue une autre mesure de réduction des pertes car elle entraîne une diminution considérable du transfert de chaleur entre la conduite et l'air ambiant.

Évaluation

Le tableau ci-dessous indique les économies possibles liées à l'application de chacune des options décrites.

Tableau 7.2 : Économies réalisées

| ACTIONS | ÉCONOMIE | TYPE D'ÉCONOMIE |
|--|----------|-----------------------------|
| Installation de moteurs à vitesse variable | 25-30 % | Consommation électrique |
| Mise en place de déflecteurs d'entrée | 10-15 % | Consommation électrique |
| Isolation des conduites | 1-3 % | Consommation de combustible |

7.3. RÉGULATION DE LA QUANTITÉ D'AIR INTRODUITE DANS LE FOUR

Contexte

La production de fumées lors de la cuisson du matériau céramique est l'un des aspects environnementaux les plus significatifs liés au secteur de la céramique de construction. En effet, une combustion médiocre au sein du four peut entraîner la présence d'imbrûlés (principalement du CO) provoquée par un défaut d'air dans le processus.

Description

Il est primordial de maintenir la circulation d'un flux d'air élevé à l'intérieur du four afin d'assurer une cuisson optimale. En pratique, une combustion complète passe inévitablement par l'introduction d'une quantité d'oxygène supérieure à la valeur théorique (combustion stœchiométrique).

En effet, la consommation d'oxygène liée à la combustion entraîne, de fait, une diminution de la concentration de l'oxygène dans l'air, ce qui complique sa réaction avec le combustible non brûlé.

Le tableau suivant indique l'excès d'air nécessaire à l'obtention d'une combustion complète pour chaque type de combustible.

Tableau 7.3 : Excès d'air nécessaire en fonction du type de combustible

| COMBUSTIBLE | EXCÈS D'AIR (%) |
|------------------------------|-----------------|
| Houille | 35 – 50 |
| Lignite | 30 – 40 |
| Anthracite et coke | 40 |
| Charbons pulvérisés | 25 – 50 |
| Combustibles liquides | 15 – 25 |
| Combustibles à l'état gazeux | 5 - 15 |

Évaluation

En optimisant les paramètres de combustion des équipements de production de chaleur, il est possible d'atteindre une économie de combustible comprise entre 2 et 10 %.

Par ailleurs, il convient de souligner que lors d'une combustion incomplète, l'énergie chimique contenue dans le combustible n'est pas exploitée dans sa totalité. En outre, on constate l'émission d'hydrocarbures.

7.4. RÉUTILISATION DU PRODUIT AVANT CUISSON

Contexte

Lors de l'extrusion ou du moulage (cf. point 3.4.2), le matériau passe par une filière qui confère sa forme à la pièce qui la traverse pour ensuite être découpé selon les dimensions recherchées pour le produit fini. Ce découpage produit une grande quantité de matière excédentaire. Celle-ci peut être réintroduite dans le malaxeur sans aucune répercussion sur la qualité de la matière première.

Description

L'opération décrite ci-dessus peut être automatisée de manière que les pièces excédentaires provenant du découpage soient réintroduites dans le malaxeur par le biais de convoyeurs à bande.

En outre, il convient de souligner que l'opération d'empilage des produits en vue de les introduire dans le séchoir est souvent à l'origine de pièces défectueuses. La mise en place d'une série de conteneurs s'avère alors judicieuse afin de stocker ces pièces qui pourront être réutilisées dans le processus.

Évaluation

La quantité de pièces non conformes dépend du type d'installation. Elle représente 1 % de la production totale du site. Cette automatisation conduit à une double économie : la réutilisation de l'excédent en tant que matière première et l'élimination de la gestion de ce déchet grâce à sa revalorisation.

Les photos ci-dessous fournissent un exemple pratique d'application de cette méthode.

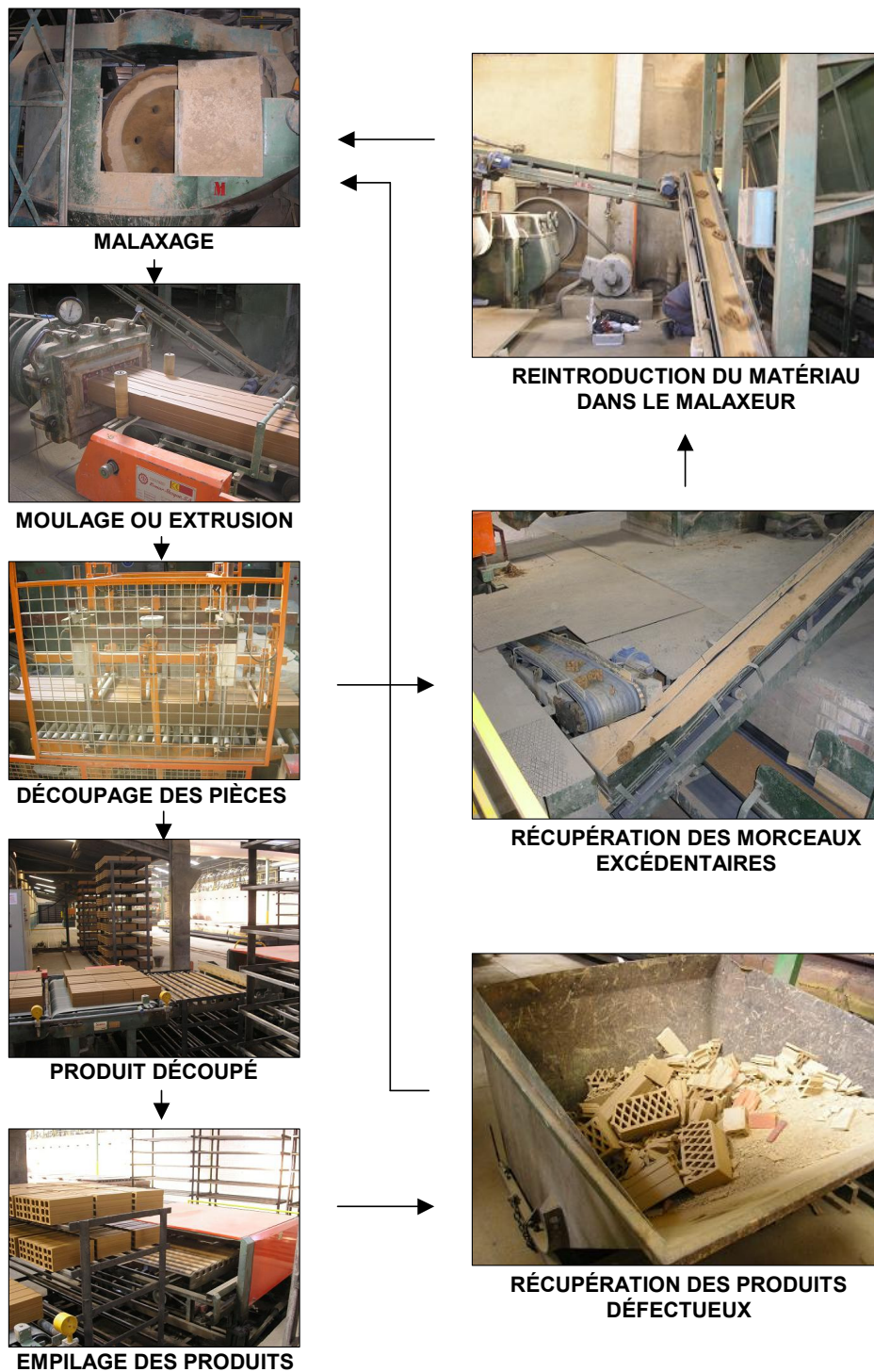


Figure 7.1 : Schéma de réutilisation des produits défectueux avant cuisson

7.5. RÉCUPÉRATION DES GAZ CHAUDS PRODUITS PAR LE FOUR POUR LEUR RÉINTRODUCTION DANS LE SÉCHOIR

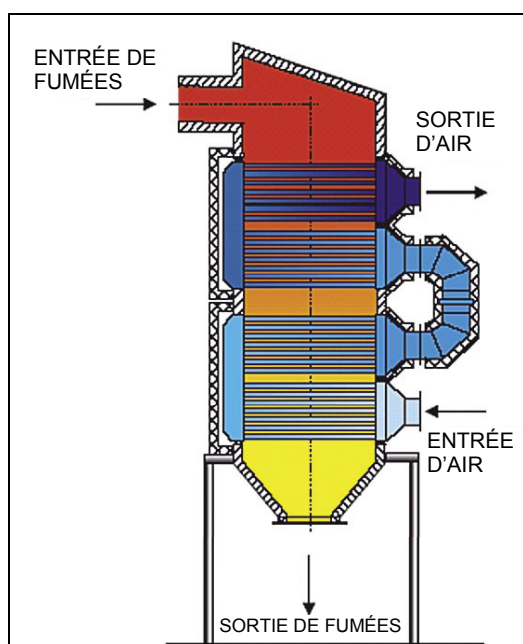
Contexte

Dans certaines installations, le séchage du matériau avant son entrée dans le four (cf. point 3.5) se fait par le biais de brûleurs à combustible (gaz naturel, biomasse ou autres) nécessaires au réchauffement de l'air. Ceci entraîne l'émission dans l'air de gaz de combustion, de particules, etc., en plus ou moins grande quantité en fonction du combustible utilisé.

La mise en place d'un système permettant la récupération des gaz chauds produits par le four peut conduire à la diminution, voire à l'élimination, de la consommation de combustible pour le séchage.

Description

Le système est constitué d'une conduite reliant les deux installations, munie d'un système de ventilation d'air chaud (récupérateur de chaleur). Ce dernier est acheminé à l'intérieur du séchoir pour être diffusé par les ventilateurs.



Source : Gouvernement d'Andalousie

Figure 7.2 : Récupérateur de chaleur de fumées rejetées par le four

L'air utilisé ne renferme aucune charge polluante car il est capté à l'extrémité du four. Les émissions générées au centre de ce dernier sont en effet aspirées et rejetées à l'extérieur via un seul et unique point d'émission (équipé d'un filtre servant à minimiser la charge polluante des rejets).



Cette photo décrit un exemple d'exploitation des gaz du four pour le séchage de la matière avant cuisson

Photo 7.3 : Réutilisation des gaz produits par le four de cuisson

Cette chaleur résiduaire peut être réutilisée pour :

- a) le préchauffage et préséchage du produit introduit dans le préfour (le cas échéant) ;
- c) le préchauffage de l'air de combustion (au moyen d'un échangeur à contact indirect).

La température moyenne de la chaleur directement récupérée (air chaud du four) oscille entre 150 et 200 °C et entre 275 et 385 °C en fonction du four utilisé et de son régime de fonctionnement. La connexion four-séchoir (récupération de chaleur) permet donc de réduire la consommation de l'ensemble. La température de l'air introduit dans le séchoir depuis la chambre de mélange varie entre 100 et 150 °C sur les fours tunnels, et entre 70 et 90 °C sur les fours Hoffmann selon le type et le régime de fonctionnement du four et du séchoir.

Par ailleurs, il convient de souligner que les fours tunnels se des points d'émission de chaleur résiduaire de niveau thermique suffisamment élevé pour que cette chaleur soit réutilisée dans le processus. On peut citer à titre d'exemple la chaleur utilisée pour de refroidissement de la voûte et des wagonnets du four. Celle-ci est évacuée sous forme de flux d'air à 100-120 °C et peut être réintroduite dans le préfour (le cas échéant) ou bien dans la chambre de mélange où elle sera combinée à l'air de combustion récupéré et réutilisé en tant qu'air de combustion par les buses du four.

Évaluation

La mise en place de ce système offre une réduction des émissions globales de l'entreprise dont le pourcentage dépend du type de combustible utilisé dans le séchoir.

L'économie attendue varie entre 2 et 6 % de la consommation totale du four en cas de réutilisation des gaz, et oscille entre 1 et 5 % en cas de récupération de la chaleur résiduaire.

7.6. INSTALLATION DE COGÉNÉRATION

Contexte

La consommation d'électricité au sein des industries du secteur de la céramique est considérable liée à la quantité de machines utilisées lors des différentes opérations. Une mesure permettant d'optimiser cette consommation est la mise en place d'un système de cogénération sur le site pour la production d'électricité. Ce type d'installation permet à l'entreprise de consommer une certaine proportion d'énergie et de redistribuer l'excédent sur le réseau. En outre, la chaleur résiduaire générée peut être réutilisée dans le même processus.

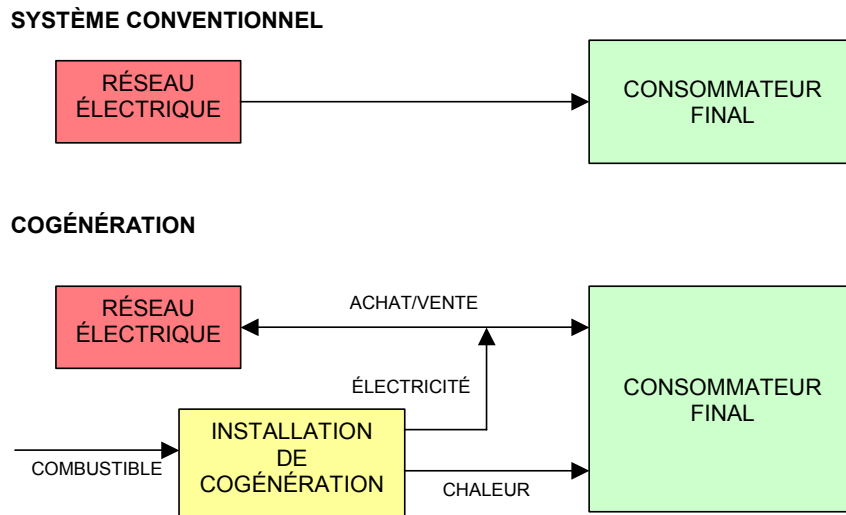


Figure 7.3 : Système conventionnel comparé à un système de cogénération

Description

Dans les entreprises dédiées à l'élaboration de produits céramiques, le besoin thermique fourni par cogénération est réparti de la façon suivante :

- Air chaud pour le séchoir (entre 100 et 120 °C environ)
- Air ou gaz de combustion pour le besoin thermique du préfour
- Vapeur pour le malaxage

Il existe plusieurs types de cogénération affichant des caractéristiques différentes. Le tableau suivant présente les principaux avantages et inconvénients de chacune de ces méthodes de cogénération.

Tableau 7.4 : Principaux avantages et inconvénients des différents types de cogénération

| TYPE | AVANTAGES | INCONVÉNIENTS |
|--------------------------|--|---|
| TURBINE À GAZ | <ul style="list-style-type: none"> • Large palette d'applications • Très fiable • Température élevée de l'énergie thermique produite • Plage allant de 0,5 à 100 MW • Gaz à haute teneur en oxygène | <ul style="list-style-type: none"> • Limitation quant aux combustibles utilisables • Durée de vie utile relativement courte |
| TURBINE À VAPEUR | <ul style="list-style-type: none"> • Rendement global très élevé • Extrêmement sûre • Emploi possible de tout type de combustible • Longue durée de vie utile • Large gamme de puissances | <ul style="list-style-type: none"> • Puissances électriques élevées difficiles à obtenir • Lenteur de la mise en marche • Coût élevé |
| MOTEUR ALTERNATIF | <ul style="list-style-type: none"> • Haut rendement électrique • Faible coût • Longue durée de vie utile • Capacité d'adaptation aux fluctuations de la demande | <ul style="list-style-type: none"> • Coût de maintenance élevé • Obtention d'une énergie thermique à basse température |

Évaluation

Comme nous l'avons constaté précédemment, la cogénération permet de répondre aux besoins en énergie du site industriel à un coût plus faible par rapport au système conventionnel.

L'économie financière qui en découle dépend de la différence entre le prix de l'énergie électrique acquise directement via le réseau et le prix du combustible utilisé sur le site. La revente d'électricité au réseau dépend elle aussi de la marge entre le prix du combustible et le prix de vente.

Plus cette différence est importante, plus les bénéfices obtenus sont élevés et, par conséquent, plus court sera le retour sur investissement.

Les applications de cogénération les plus courantes conduisent habituellement à des réductions de l'ordre de 20-30 % sur la facture énergétique avec des délais de retour sur investissement s'étalant sur 2-3 ans.

7.7. INSTALLATION DE BRÛLEURS À HAUTE VITESSE DANS LE FOUR

Contexte

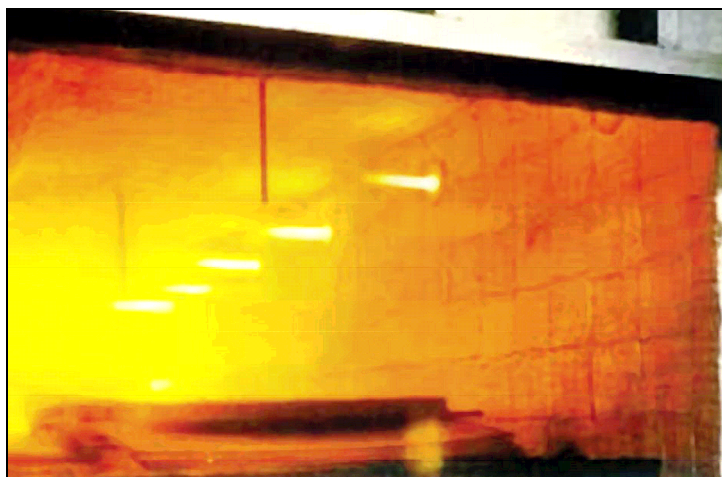
La consommation d'énergie thermique dans le secteur de la céramique est l'un des aspects les plus significatifs. Pour une usine produisant 50 000 t/an de matériaux céramiques, le coût moyen de l'énergie thermique représente 25 % des coûts totaux de l'entreprise.

Cette énergie thermique est en grande partie consommée à l'intérieur du four et parfois dans le séchoir.

Description

La mise en place de brûleurs à haute vitesse sur les parois de la zone de préchauffage d'un four tunnel offre une meilleure homogénéité de température entre les parties supérieure et inférieure des lots de briques, ce qui permet une cuisson plus rapide et efficace.

La photo ci-dessous représente une rangée de brûleurs à haute vitesse encastrés dans les parois d'un four tunnel.



Source : Gouvernement d'Andalousie

Photo 7.4 : Brûleurs à haute vitesse dans un four tunnel

Évaluation

L'installation de ce type de brûleur entraîne aussi bien une réduction de la durée du cycle de cuisson (accompagnée d'une augmentation de la productivité comprise entre 20 et 30 %) que de la consommation spécifique du four (environ 5 %).

7.8. MISE EN PLACE D'UN SYSTÈME D'ÉCLAIRAGE À FAIBLE CONSOMMATION

Contexte

La consommation électrique dérivée de l'éclairage du site n'est dans la plupart des cas jamais prise en compte alors qu'elle représente un élément important dans la réduction de la consommation globale d'énergie de l'entreprise.

Description

Comme indiqué précédemment, ce système joue sur la mise en œuvre de 2 actions :

- Mise en place de **ballasts électroniques** sur les luminaires à lampe fluorescente dotés d'un mécanisme d'allumage par réactance et starter.

Le ballast sert à stabiliser la décharge à l'intérieur du tube fluorescent en garantissant un fonctionnement correct et une durée de vie prolongée de la lampe.

En outre, le fait d'augmenter la fréquence de fonctionnement du tube offre une meilleure efficacité lumineuse. Par exemple, si la fréquence dépasse 15 kHz et si la puissance est maintenue constante, le flux lumineux s'accroît d'environ 10 %.

- Remplacement des lampes à vapeur de mercure par des **lampes à vapeur de sodium haute pression** (le tableau ci-dessous propose un classement de plusieurs types de lampes en fonction de leur rendement).

Tableau 7.5 : Types de lampes les plus employés

| TYPE | INTENSITÉ (EN LM) | CONSOMMATION (EN W) | DURÉE DE VIE MOYENNE (EN H) | RENDEMENT (EN LM/W) |
|--|----------------------|------------------------|--------------------------------------|------------------------|
| Lampe à vapeur de sodium haute pression | 6 500 | 70 | 24 000 | 78,3 |
| Lampe à vapeur de mercure et à halogénures métalliques | 5 200 | 70 | 8 000 | 59,3 |
| Lampe à vapeur de mercure | 6 500 | 125 | 18 000 | 47,4 |
| Lampe halogène et iode-quartz | 5 000 | 300 | 1 500 | 16,6 |
| Lampe à incandescence | 4 800 | 300 | 1 000 | 16 |

Le schéma ci-dessous décrit une lampe à vapeur de sodium équipée d'une ampoule claire et un modèle muni d'une ampoule diffusante.

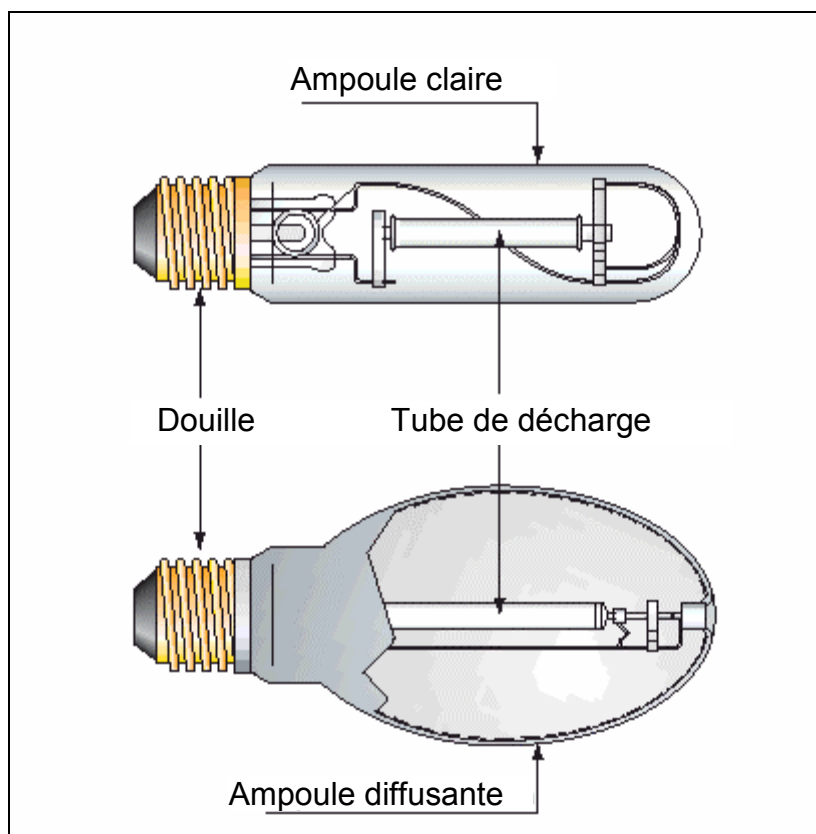


Photo 7.5 : Lampes à vapeur de sodium haute pression

Évaluation

La mise en place de ballasts électroniques permet d'atteindre une économie supérieure à 25 % en comparaison avec les équipements conventionnels.

Par ailleurs, l'investissement nécessaire au remplacement d'une lampe à vapeur de mercure de 250 W par une lampe à vapeur de sodium de 150 W fonctionnant plus de 4 000 h/an et représentant un coût électrique de 8,42 €/kWh peut être amorti dans un délai inférieur à un an et demi.

7.9. CAPOTAGE DES MACHINES POUR LA DIMINUTION DU BRUIT

Contexte

Le broyage réalisé pendant la fabrication de produits céramiques génère une quantité importante de bruit dû au concassage de l'argile. Ce dernier est plus ou moins significatif en fonction du type de machine utilisée et des caractéristiques de la matière première. En tout état de cause, le bruit peut être généré vers l'extérieur et atteindre des valeurs supérieures à celles autorisées par la réglementation en vigueur dans la zone d'implantation de l'installation (plus ou moins restrictive en fonction de la nature de la zone, à savoir urbaine ou industrielle).

Description

Le graphique ci-dessous propose une comparaison du résultat obtenu après application de mesures correctives destinées à la diminution du bruit et impliquant le capotage des machines. Ce système réduit de façon notable le bruit localisé dans les moyennes et hautes fréquences.

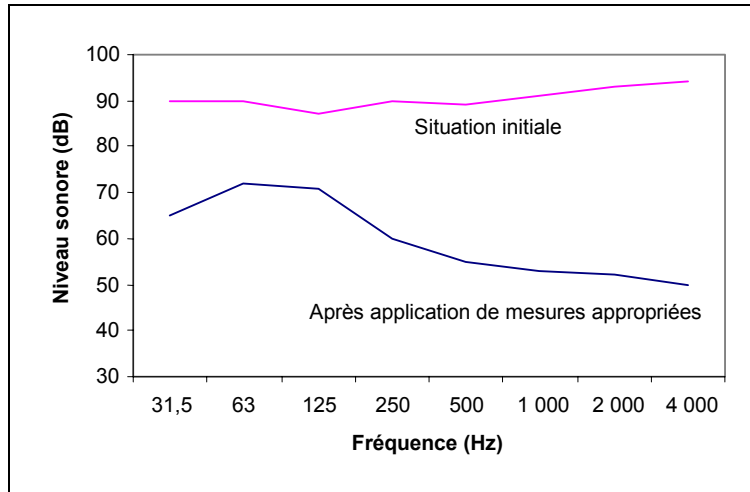


Figure 7.4 : Comparaison de l'émission de bruit avec et sans mesures correctives

Évaluation

L'application de ce type de mesure corrective conduit à une réduction considérable du niveau de bruit des machines permettant ainsi de répondre à la législation en vigueur. Ce système peut également être appliqué sur d'autres types de technologies affichant des caractéristiques similaires, notamment sur les moteurs de cogénération.

7.10. INSTALLATION DE MOTEURS À HAUT RENDEMENT

Contexte

Les entreprises appartenant au secteur de la céramique de construction font habituellement appel à des moteurs qui affichent des puissances élevées (au-dessus de 100 et 200 CV en général) et une consommation électrique importante.

Description

Un moteur électrique à haut rendement possède une plus longue durée de vie utile qu'un moteur conventionnel et son coût est supérieur de 5 % à 25 %.

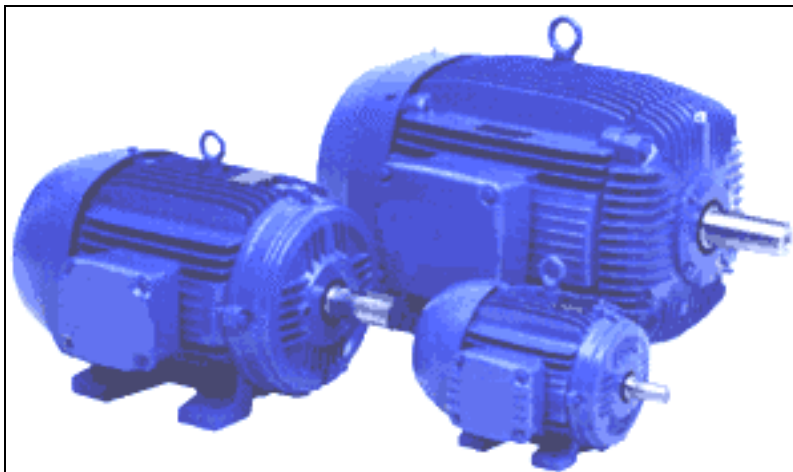


Photo 7.6 : Groupe de moteurs à haut rendement

Évaluation

En ne prenant en compte que l'économie d'électricité, le remplacement d'un moteur conventionnel par un moteur à haut rendement requiert une période d'amortissement beaucoup trop élevée. Néanmoins, en ne considérant que le surcoût des équipements, cette période chute à 1 ou 2 ans. Ce type de modification est donc judicieux à tous les points de vue sur les nouvelles installations ou lorsqu'il s'avère nécessaire de renouveler le parc de moteurs pour cause d'arrivée en fin de vie ou en cas de panne importante.

8. RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

Sur les 20 pays de la région Méditerranée analysés dans cet ouvrage, les principaux producteurs de céramique de construction sont l'Italie et l'Espagne (30 % du marché mondial), qui devancent de loin la Turquie et la France. Ceci est principalement dû au plein essor du secteur de la construction dans ces pays, le secteur de la céramique étant fortement lié à l'évolution des cycles économiques et à l'activité de la construction.

Les entreprises sont généralement implantées à proximité des gisements de matières premières et des centres de consommation afin de minimiser les coûts de transport de ces produits à faible valeur ajoutée. Nombre d'installations sont donc propriétaires d'une carrière d'où l'argile est extraite et utilisée comme principale matière première.

Le processus de production se caractérise par une forte similitude entre tous les pays étudiés. La seule différence réside en effet dans la technologie utilisée. Dans les grandes lignes, les principales opérations menées à bien pour la fabrication de matériaux céramiques de construction sont les suivantes :

1. Réception et stockage des matières premières
2. Broyage
3. Façonnage (malaxage et moulage)
4. Séchage
5. Cuisson
6. Conditionnement des matières premières

En analysant en profondeur chacune de ces opérations, on constate une consommation considérable d'électricité découlant de la grande quantité de machines utilisées. Cette consommation est couverte dans de nombreuses entreprises par la cogénération qui offre une économie financière et une optimisation de l'exploitation du combustible permettant l'emploi de l'énergie thermique dans le processus (cf. opportunité de prévention 0-16).

Les opérations 4 et 5 correspondant à la cuisson et au séchage sont les principales sources d'impact du secteur de la céramique de construction sur l'environnement.

Les fours, et dans la majorité des cas les séchoirs, consomment une quantité importante de combustible qui entraîne, d'une part, la production de émissions atmosphériques dérivés de la combustion et, d'autre part, des émissions diffuses dans l'environnement liées au stockage (en fonction du type de combustible).

Par conséquent, le type de combustible employé par l'entreprise et la façon dont il est exploité sont les deux aspects clés dans la prise en compte des impacts du secteur sur l'environnement. L'importance de ce dernier point a donc mener à la description des principaux combustibles utilisés dans le secteur, ainsi qu'à une étude comparative en vue d'analyser leurs principaux avantages et inconvénients (cf. chapitre 5).

En répertoriant les combustibles étudiés dans ce manuel en fonction des émissions générées dans l'atmosphère (ordre croissant), le classement suivant a été obtenu :

1. Gaz naturel
2. Biomasse
3. Coke de pétrole
4. Fioul
5. Charbon

Le remplacement d'un combustible par un autre s'avère, dans la plupart des cas, impossible étant donné l'investissement élevé que cela représente. Cependant, il est possible d'optimiser le processus pour chacun des 5 combustibles répertoriés ci-dessus afin de minimiser leur impact.

On constate notamment que l'impact le plus significatif du secteur est sans conteste la consommation d'énergie, ce qui explique qu'une grande partie des opportunités étudiées dans le chapitre 6 visent à l'amélioration du rendement énergétique :

- 0-11 : Contrôle des pertes dans les circuits hydrauliques et pneumatiques
- 0-13 : Récupération des gaz chauds produits par le four pour leur réintroduction dans le séchoir
- 0-16 : Utilisation de la cogénération pour la production de vapeur
- 0-17 : Mise en place de compteurs de consommation de gaz naturel
- 0-18 : Installation de brûleurs à haute vitesse pour le préchauffage du four
- 0-20 : Mise en place d'un système d'éclairage à faible consommation
- 0-22 : Améliorations relatives à la distribution d'air dans les séchoirs
- 0-23 : Remplacement des moteurs conventionnels par des moteurs à haut rendement
- 0-24 : Extrusion en pâte dure

Par ailleurs, le secteur de la céramique de construction se caractérise par une consommation d'eau modérée et par une production d'eaux résiduelles négligeable étant donné que l'eau consommée est majoritairement absorbée par l'argile au cours du malaxage.

Enfin, s'agissant d'une activité industrielle, ce secteur n'échappe pas à la production de déchets dangereux et non dangereux qui s'avère relativement importante et doit être traitée à la source autant que possible ou, à défaut, gérée correctement.

Les produits cuits défectueux constituent les déchets les plus importants et peuvent représenter un pourcentage conséquent de la production du site. Leur réduction à la source peut donc se traduire par une économie en termes de gestion finale des déchets, accompagnée d'une hausse de la production.

Les opportunités de prévention de la pollution présentées dans ce manuel (cf. chapitre 6) prouvent qu'il s'agit d'un secteur susceptible d'améliorer son impact sur l'environnement au moyen d'actions impliquant un faible investissement et qui, dans la majorité des cas, consistent en l'application de bonnes pratiques correspondant à un simple changement des habitudes.

Néanmoins, ce manuel propose également des opportunités d'amélioration nécessitant un investissement plus élevé de la part de l'entreprise et ayant recours à une technologie plus efficace. Ces améliorations peuvent être apportées par l'entreprise pour diverses raisons : pannes, hausse de la production, optimisation des ressources, etc.

Au sein de l'Union européenne, l'application de la directive IPPC 96/61/CE vise clairement à la réduction des déchets à la source par le biais de l'utilisation des meilleures techniques disponibles (MTD). À ce titre, les opportunités exposées dans cet ouvrage qui reposent sur un investissement important vont dans le sens de cette philosophie et constituent un véritable défi pour les entreprises du secteur de la céramique de construction désireuses de progresser à niveau technologique. Pour les entreprises implantées dans des pays se trouvant hors du cadre légal, cela peut représenter une

référence lors du choix de l'orientation des nouveaux investissements et une opportunité évidente pour se démarquer des concurrents nationaux et internationaux.

Il est cependant recommandé d'effectuer une étude en vue d'analyser les options les plus pertinentes pour chaque cas concret en fonction des caractéristiques de l'entreprise et du pays d'implantation.

Les exigences toujours plus sévères de la réglementation et de la législation environnementales, associées à la prise de conscience générale des populations quant à la nécessité de protéger l'environnement, amène la société actuelle à appeler à davantage de respect de la part des entreprises et de leurs processus de production. Tous ces points obligent désormais les entreprises à intégrer des aspects liés à la protection de l'environnement au sein de la gestion de la production. L'innovation nécessaire à la conquête des nouveaux défis posés par le marché du secteur de la céramique de construction peut constituer une excellente opportunité en vue d'améliorer l'impact des entreprises sur l'environnement.

9. BIBLIOGRAPHIE

Principales sources bibliographiques

- **Commission européenne.** Draft reference Document on Best Available Techniques in the Ceramic Manufacturing Industry (2004)
- **EPA (Agence de protection de l'environnement).** Brick And Structural Clay Product Manufacturing (1997)
- **IHOBE (Société publique pour l'environnement de la communauté autonome du Pays basque).** Guía de notificación de emisiones para el sector de productos cerámicos (2003)
- **Institut espagnol de développement régional.** Estudio Medioambiental del sector de los materiales (1999)
- **Gouvernement d'Andalousie.** Guía de notificación de las emisiones de la industria de fabricación de elementos de construcción (2005)
- **Gouvernement d'Andalousie.** Industria de la cerámica estructural (2003)
- **Ministère espagnol de l'Industrie et de l'Énergie.** Guías tecnológicas: Fabricación de materiales cerámicos de construcción (1996)
- **Ministère espagnol de l'économie.** Estrategia de ahorro y eficiencia energética en España 2004-2012. Subsector minerales no metálicos (2003)
- **Revue technique sur la céramique.** Certains numéros publiés entre 2000 et 2005

Principaux sites Internet consultés

Albanie _____

- Office du commerce et du tourisme d'Albanie : www.promoalbania.org

Algérie _____

- Ambassade d'Espagne en Algérie : www.tsai.es
- Agence algérienne de promotion du commerce extérieur : www.eldjazair.net.dz
- Office national des statistiques de l'Algérie : www.ons.dz
- Institut national algérien de la propriété industrielle : www.inapi.org

Bosnie-Herzégovine _____

- Chambre de commerce de Bosnie-Herzégovine : www.komarobih.com
- Ministère du commerce extérieur et des relations économiques de Bosnie-Herzégovine : www.mvteo.gov.ba
- Chambre de commerce de la fédération de Bosnie-Herzégovine : www.kfbih.com
- Agence des statistiques de Bosnie-Herzégovine : www.bhas.ba/flash/eng/index/index.htm

Chypre

- Département des statistiques de Chypre : www.pio.gov.cy/dsr
- Gouvernement-Administration de Chypre : www.cypirus.gov.cy
- Portail officiel de Chypre : www.kypros.org
- Banque centrale de Chypre : www.centralbank.gov.cy
- Chambre de commerce de Chypre : www.cci.org.cy
- Service statistique de Chypre : www.pio.gov.cy/dsr/index.html

Croatie

- Ministère croate de l'économie, du travail et de l'entrepreneuriat : www.mingo.hr
- Ministère croate de la mer, du tourisme, du transport et du développement : www.mpv.hr
- Ministère croate de l'environnement, de l'aménagement du territoire et de la construction : www.mzopu.hr

Égypte

- Portail du gouvernement égyptien contenant toutes les informations générales : www.highway.idsc.gov.eg
- Portail du gouvernement égyptien contenant toute l'actualité du pays : www.idsc.gov.eg
- Ministère égyptien des Affaires étrangères : www.mfa.gov.eg
- Ministère égyptien de l'Économie : www.economy.gov.eg
- Portail d'analyses économiques et de différentes études à caractère commercial d'intérêt sur l'économie égyptienne : www.economy.gov.eg/depra/
- Portail d'information sur la situation du processus de privatisation égyptien : www.egyptinc.com
- Informations sur tout le Proche-Orient : www.middleeasttimes.com
- Publications économiques égyptiennes : www.meed.com
- Journal sur la situation économique en Égypte : www.egyptinc.com/egyptinc_frame1.htm

Espagne

- Association espagnole des fabricants de carrelages et de revêtements céramiques : www.ascer.es
- Institut espagnol du commerce extérieur : www.icex.es
- Base de données sur l'accès au marché : <http://mkaccdb.eu.int>
- Fédération nationale des agents commerciaux : www.comagent.com
- Chambre de commerce française : www.coef.com
- Ambassade d'Espagne en France : www.amb-espagne.fr
- Association espagnole des fabricants de briques et tuiles d'argile cuite : www.hispalyt.es
- Association des entrepreneurs espagnols de matériaux pour la construction : www.asemaco.es
- Confédération espagnole des associations de fabricants de produits pour la construction : www.cepco.es
- Revue spécialisée dans le secteur de la céramique, des briques et des tuiles en Espagne : www.publica.es/publica/p-tc.html
- Association des entreprises de construction à niveau national (Espagne) : www.seopan.es

France

- Chambre franco-espagnole de commerce et d'industrie : www.lachambre.es
- Ambassade de France en Espagne : www.ambfrance-es.org
- Centre français du commerce extérieur : www.cfce.fr
- Institut national français de la statistique et des études économiques : www.insee.fr
- UBIFRANCE (services français d'information) : www.cfce.fr
- Chambre française de commerce international : www.iccwbo.org
- Chambre de commerce et d'industrie de Paris : www.ccip.fr
- Ministère français de l'Économie, des Finances et de l'Industrie : www.finances.gouv.fr
- Chambre de commerce de Paris : www.ccip.fr

Grèce

- Organisme grec du commerce extérieur : <http://www.hepo.gr/>
- Institut national de statistiques de Grèce : www.statistics.gr/Main-eng.asp

Italie

- Association nationale des entreprises de construction d'Italie : www.ance.it
- Association des producteurs de céramique et de matériaux réfractaires d'Italie : www.assopiastrelle.it
- Associations diverses du secteur italien de la construction : www.buildingitaly.com/associazioni.asp
- Chambres de commerce italiennes : www.camcom.it
- Confédération italienne des entreprises : www.cofindustria.it
- Institut de recherche italien sur la construction : www.cresme.it
- Portail italien sur la construction : www.edilio.it
- Fédération italienne des négociants de matériaux de construction : www.federcomated.it
- Fédération européenne de l'industrie de la construction italienne : www.federcomated.it
- Ceramic World Web (Magazine en ligne du secteur de la céramique en Italie) : www.ceramicworldweb.it/
- Tile Italia (Magazine en ligne du secteur de la céramique en Italie) : www.tileitalia.it

Slovénie

- Chambre de commerce et d'industrie de Slovénie : www.gzs.si
- Ministère slovène de l'Économie : www.gov.si/mq-rs.si
- Gouvernement de Slovénie : www.gov.si
- Ministère slovène des Affaires étrangères : www.gov.si/mzz
- Bureau des statistiques de Slovénie : www.stat.si

Autres sources consultées

Israël

- Fédération des chambres de commerce israéliennes
- The Israel export & International Cooperation Institute

Liban

- Banque du Liban
- Chambre de commerce, d'industrie et d'agriculture du Liban
- Ministère libanais de l'Économie et du Commerce
- Ministère libanais de l'Industrie

Libye

- Chambre de commerce, d'industrie et d'agriculture de Tripoli
- Union libyenne des chambres de commerce, d'industrie et d'agriculture

Malte

- Banque centrale de Malte
- Statistiques du commerce international
- Chambre de commerce de Malte

Maroc

- Guide élémentaire d'approche au marché marocain
- Ministère marocain du Commerce extérieur
- Ministère marocain de l'Industrie et du Commerce

Syrie

- Ministère syrien de l'Économie et du Commerce extérieur

Turquie

- Ministère turc de l'Industrie, du Tourisme et du Commerce
- Banque centrale de Turquie
- Institut turc des statistiques
- Statistiques du commerce international

Autres

- Études de marché fournies par les bureaux économiques et commerciaux des ambassades d'Espagne au sein des pays de la région Méditerranée
- Guides et fiches des pays. *ICEX (Instituto Español de Comercio Exterior)*
- Rapports économiques et commerciaux des pays de la région Méditerranée. *ICEX (Instituto Español de Comercio Exterior)*
- Base de données sur l'accès au marché
- Market acces data base

10. REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier les entreprises suivantes pour leur collaboration :

- **García-Munté Energía**, fournisseur de services énergétiques
- **Ceràmiques Llensa**, fabricant de produits céramiques destinés à la construction
- **Diverses entreprises du secteur de la céramique de construction** citées au bas des photos de cet ouvrage

ÉE

PRE



**Centre d'activités régionales
pour la production propre (CAR/PP)**

Paris, 184, 3^a planta - 08036 Barcelona (Espagne)

Tél. : + 34 93 415 11 12 - Fax : + 34 93 237 02 86

Courriel : cleanpro@cprac.org

<http://www.cprac.org>