



Ministère de l'Economie,
des Finances et
de l'Industrie

Mémento roches et minéraux industriels

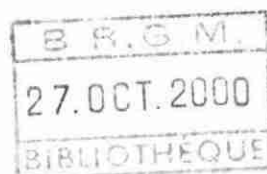
Argiles nobles pour produits céramiques

Décembre 1992
R 35743





Ministère de l'Economie,
des Finances et
de l'Industrie



Mémento roches et minéraux industriels

Argiles nobles pour produits céramiques

Ph. Rocher

Décembre 1992
R 35743



BRGM
Service Géologique National
Département Géologie
B.P. 6009 - 45060 ORLÉANS CEDEX 2 - France
Tél. : (33) 38.64.34.34

POUR TOUS RENSEIGNEMENTS ET COMMANDES, CONTACTER :

BRGM

Unité GEOMATERIAUX (SMN/PEA/MTX)

B.P. 6009 - 45060 ORLEANS CEDEX 2

Téléphone Secrétariat : 02 38.64.33.09

Télécopieur : 02 38.64.39.63 - Télex : BRGM 780258 F

RESUME

Les argiles nobles sont des matériaux argileux de composition variable au sein desquels la kaolinite est la phase prédominante, les autres constituants principaux étant d'autres minéraux argileux (illite notamment), le quartz et la matière organique.

La plupart des gisements exploités sont d'origine sédimentaire détritique, résultant de l'érosion, du transport et de la sédimentation d'argiles kaoliniques générées par l'altération des feldspaths des roches granitiques. Les principaux gisements français, dans les bassins "des Charentes" et de Provins, sont d'âge tertiaire et correspondent à des dépôts lenticulaires.

Contrairement aux kaolins, les traitements appliqués aux argiles nobles ne les transforment pas fondamentalement. Les produits sont commercialisés sous différentes formes : argiles crues, ou chamottes résultant de leur calcination.

Les argiles nobles sont utilisées, dans des proportions variables, pour la fabrication de différents produits céramiques : produits réfractaires, céramiques sanitaires, carreaux de revêtement, vaisselle et poteries.

La production mondiale est dominée par les USA, l'Allemagne, la République tchèque, la France, le Japon et la Grande Bretagne. Notre pays a produit environ 1,1 Mt d'argiles nobles en 1991 dont 389 000 t à l'exportation. Les importations françaises, principalement d'Allemagne, s'élevaient à 302 000 t cette même année. La consommation française apparente était de l'ordre de 850 000 t/an en 1990-91.

Au niveau mondial, l'évolution actuelle se traduit par un déplacement des centres de production et des marchés en développement vers des pays d'Europe du Sud, d'Afrique du Nord et d'Orient.



TABLE DES MATIERES

1 - DEFINITIONS	7
2 - GEOLOGIE ET GISEMENTS	9
2.1 - Conditions de genèse et types de gisements	9
2.2 - Méthodes de prospection des gisements et de caractérisation des matériaux	10
2.3 - Critères d'exploitabilité des gisements	11
2.4 - Gisements français	12
2.4.1 - Généralités	12
2.4.2 - Bassin argilier "des Charentes"	14
2.4.3 - Bassin argilier de Provins	16
2.5 - Modes d'exploitation et de traitement des matériaux	18
3 - PROPRIETES CHIMIQUES, MINERALOGIQUES, PHYSIQUES ET TECHNOLOGIQUES	21
3.1 - Généralités	21
3.2 - Composition chimique et minéralogique	21
3.3 - Propriétés physiques et technologiques	24
4 - SECTEURS D'UTILISATION ET SPECIFICATIONS INDUSTRIELLES	28
4.1 - Généralités	28
4.2 - Produits céramiques concernés	30
4.3 - Evolution de la production française de produits céramiques	33
4.4 - Spécifications industrielles	35

5 - ECONOMIE ET MARCHÉ	37
5.1 - Production mondiale	37
5.2 - Production française	39
5.3 - Importations. Exportations. Consommation française apparente	41
5.4 - Prix	44
6 - PRODUITS DE SUBSTITUTION	46
7 - REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	47

LISTE DES FIGURES

- Fig. 1 - Carte de localisation des principaux gisements français d'argiles nobles pour produits céramiques.**
- Fig. 2 - Carte de localisation des formations tertiaires du bassin "des Charentes".**
- Fig. 3 - Schéma type d'une installation de traitement d'argiles nobles pour produits céramiques.**
- Fig. 4 - Schéma type d'une unité de production de chamottes épurées.**
- Fig. 5 - Compositions minéralogiques des argiles du Westerwald/Allemagne et du Devon/Angleterre.**
- Fig. 6 - Schéma simplifié du processus de fabrication des produits céramiques.**
- Fig. 7 - Evolution de la production française d'argiles réfractaires et kaoliniques entre 1981 et 1991.**
- Fig. 8 - Répartition de la production française d'argiles nobles pour produits céramiques par bassins de production en 1991.**
- Fig. 9 - Répartition de la production française d'argiles nobles par secteurs de l'industrie céramique en France en 1991.**

LISTE DES TABLEAUX

- Tabl. 1 - Compositions chimiques d'argiles nobles crues utilisées en Europe dans l'industrie céramique.**
- Tabl. 2 - Compositions chimiques de quelques chamottes produites dans le bassin "des Charentes".**
- Tabl. 3 - Caractéristiques physiques et technologiques de quelques argiles crues utilisées dans l'industrie céramique.**
- Tabl. 4 - Caractéristique physiques et technologiques de quelques chamottes produites dans le bassin "des Charentes".**
- Tabl. 5 - Grandes classes de produits céramiques.**
- Tabl. 6 - Proportions moyennes d'argiles nobles entrant dans la fabrication des produits céramiques.**
- Tabl. 7 - Productions annuelles nationales d'argiles nobles utilisées dans l'industrie céramique.**
- Tabl. 8 - Prix de quelques argiles nobles commercialisées en Europe en 1992.**

1 - DEFINITIONS

Les argiles prises en compte dans le présent document constituent les matières premières minérales de base utilisées pour la fabrication de différents types de produits céramiques :

- produits réfractaires ;
- céramiques sanitaires ;
- carreaux de revêtement de sols et de murs ;
- vaisselle (porcelaine et faïence) et poteries.

Les céramiques techniques, qui représentent une faible part de la production totale de produits céramiques, et dont la fabrication fait appel principalement à des matériaux de synthèse, ne seront pas prises en compte ici.

Nous utiliserons le terme générique d'"argiles nobles" qui recouvre une gamme de matériaux argileux portant des qualificatifs variés, compte tenu de leur composition ou de leur comportement technologique :

- argiles kaoliniques ;
- argiles réfractaires ;
- argiles alumineuses ou hyper-alumineuses ;
- argiles grésantes ou à grès ;
- argiles cuisant blanc ou clair ;
- argiles plastiques ;
- argiles céramiques.

D'autres substances argileuses sont utilisées pour la fabrication de produits céramiques. Elles ne sont pas traitées dans le cadre de cette synthèse et font l'objet de documents spécifiques dans la série des mémentos roches et minéraux industriels édités par le BRGM. Il s'agit :

- du kaolin (Pasquet, 1988), produit pur composé exclusivement ou presque d'argile de type kaolinite, obtenu par élimination des impuretés à partir de matériaux d'origines diverses ;
- de l'halloysite (Spencer, 1991), argile rare du groupe de la kaolinite servant à la confection des pâtes céramiques notamment ;
- de la bentonite (Le Berre, 1988) composée d'argiles de type smectites, utilisée très marginalement en céramique, pour l'élaboration de pâtes et d'émaux notamment ;
- des argiles dites "communes" (Thibaut, 1991), servant à la fabrication des produits de terre cuite tels que les tuiles et les briques.

Il est à noter qu'en terme de produits finis il existe une légère interférence entre les argiles traitées ici et celles dites "communes". C'est le cas des carreaux de revêtement en terre cuite et des poteries.

Les matériaux pris en compte dans cette synthèse sont des argiles *s.s.*, c'est-à-dire des substances qui par définition contiennent au moins 50 % de minéraux argileux, silicates d'alumine hydratés de type phyllosilicates. D'autres matériaux (sables argileux ou feldspathiques) sont parfois utilisés dans l'industrie céramique, mais ils ne répondent pas à cette définition.

D'un point de vue minéralogique, les argiles nobles sont des matériaux dans lesquels la kaolinite ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_2$) est la phase argileuse prédominante, présente en proportions variables selon les gisements. Les autres composants, plus ou moins bien exprimés, sont de nature variée :

- minéraux argileux : illite ($\text{K}_n\text{Al}_2\text{Si}_{4-n}\text{Al}_n\text{O}_{10}(\text{OH})_2$), smectites, halloysite, interstratifiés ;
- quartz ;
- micas ;
- feldspaths ;
- matière organique ;
- oxydes de fer.

L'appellation "argiles nobles" englobe différents termes anglo-saxons :

- "ball clays" : argiles fines correspondant typiquement à un mélange de kaolinite désordonnée (teneur ≥ 70 %), d'illite, de quartz, de montmorillonite, de chlorite et de petites quantités (souvent de 2 à 4 %) de matière organique. Elles présentent couramment les caractéristiques suivantes : grande plasticité (liée à leur teneur en matière organique), haute résistance, coloration claire après cuisson ;
- "plastic clays" : argiles fines, très plastiques, contenant souvent une kaolinite désordonnée, du quartz et des minéraux micacés (illite). Leur qualité est légèrement inférieure à celle des "ball clays". Elles cuisent généralement moins blanc que ces dernières et elles sont également utilisées pour la fabrication de tuiles, briques et tuyaux ;
- "refractory clays" : groupe comprenant différentes variétés d'argiles kaoliniques utilisées pour la fabrication de produits résistants aux hautes températures ;
- "fireclays" : argiles peu alumineuses ($\text{Al}_2\text{O}_3 = 25$ à 35 %), plastiques, relativement communes, souvent associées à des dépôts charbonneux, colorées après cuisson. Leurs propriétés réfractaires sont généralement médiocres et leur emploi décline compte tenu des évolutions technologiques ;
- "flint clays" : argiles kaoliniques, fines, non friables, à cassure conchoïdale (semblable à celle du silex), presque sans plasticité naturelle (elles ne font pas pâte avec l'eau). Typiquement d'origine sédimentaire et associées aux dépôts charbonneux, elles comprennent comme autres constituants l'illite, le quartz, des minéraux ferrotitanés et la matière organique.

Les argiles réfractaires haut de gamme de ce type, également dénommées "super-duty clays" sont généralement utilisées sous forme calcinée (chamottes). Elles sont caractérisées par de basses teneurs en alcalins et en fer, et par une très haute teneur en alumine du fait de leur

grande richesse en kaolinite et de la présence d'hydrates d'alumine (gibbsite, boehmite, diaspore). Quelques matériaux exploités en France peuvent être rattachés à ce type. C'est le cas de certaines argiles du bassin "des Charentes" et du Var, ces dernières étant associées aux bauxites.

- "binding clays" : argiles plastiques utilisées comme liants dans les produits réfractaires (briques, monolithes). Elles présentent quelques propriétés réfractaires mais sont surtout valorisées pour leurs propriétés liantes.

2 - GEOLOGIE ET GISEMENTS

2.1 - CONDITIONS DE GENESE ET TYPES DE GISEMENTS

La kaolinite, composant principal des argiles nobles, est un minéral argileux issu le plus souvent de l'altération des feldspaths contenus dans les roches magmatiques ou métamorphiques. Elle est le témoin de phénomènes d'altération intense en milieu bien lessivé. A l'instar des argiles considérées au sens large du terme, les argiles nobles peuvent être subdivisées en deux groupes d'un point de vue génétique : les argiles résiduelles et les argiles sédimentaires.

Les argiles résiduelles, qui caractérisent les gisements primaires, se sont formées sur place aux dépens des roches cristallines. Elles représentent le résidu solide de l'altération (supergène ou hydrothermale) de certains minéraux (feldspaths, micas) constitutifs des roches mères, granitiques ou métamorphiques le plus souvent. Elles sont restées à l'endroit où elles se sont formées. Les matériaux exploités près de Châteaubriant (Loire-Atlantique) correspondent à ce type génétique.

Les argiles de décalcification sont à rattacher à ce groupe. Elles proviennent de la destruction des niveaux calcaires par les agents atmosphériques, les impuretés argileuses ayant résisté et s'étant de ce fait concentré. C'est le cas des argiles exploitées dans la région de Langeais (Indre-et-Loire).

Les argiles sédimentaires, qui correspondent à des dépôts secondaires détritiques, se sont formées à partir des argiles résiduelles qui ont été érodées et dont les éléments ont été transportés par les eaux courantes avant de se déposer dans des bassins de sédimentation. Elles constituent des niveaux continus ou des lentilles et sont associées à d'autres roches tels que les sables. Avant de se déposer dans un bassin sédimentaire, le matériau argileux originel a subi un transport au cours duquel il s'est transformé :

- certains minéraux associés, tel que le quartz, ont pu être éliminés ;
- d'autres composés, comme la matière organique, ont pu être apportés ;

- la structure et la taille des cristaux de kaolinite ont été modifiées : désordre structural, cristallites plus petites (souvent taille $\leq 0,5 \mu\text{m}$).

La plupart des gisements d'argiles nobles exploités dans le monde correspondent à ce dernier type génétique, et sont de taille, de forme et d'âge variables. Cependant, les dépôts lenticulaires, de faible extension et d'âge tertiaire, principalement éocène, sont les plus répandus.

Des facteurs géologiques particuliers peuvent dans certains cas avoir une influence déterminante dans la constitution et la préservation des gisements d'argiles. Dans le cas des argiles de type "ball clays" anglaises (Russel, 1988), l'activité tectonique cassante a permis le développement de zones fracturées qui ont constitué des zones de faiblesse permettant l'installation des principaux chenaux. Le matériel sédimentaire a été transporté dans ces derniers avant d'être piégé et de s'accumuler dans des lacs éphémères peu profonds. Par la suite, les acides organiques, produits par la dégradation de la végétation, ont initié la floculation et l'arrangement des particules argileuses qui constituent des niveaux homogènes et continus, interstratifiés dans des lignites et des sables.

En Allemagne, dans la région du Westerwald, l'activité volcanique postérieure est à l'origine de la mise en place d'une épaisse couverture basaltique sus-jacente aux dépôts argileux, ce qui en a assuré la préservation.

Les conditions de genèse des principaux gisements français d'argiles nobles, à savoir les bassins "des Charentes" et de Provins, sont précisées au paragraphe 2.4.

2.2 - METHODES DE PROSPECTION DES GISEMENTS ET DE CARACTERISATION DES MATERIAUX

Les méthodes de prospection des gisements et de caractérisation des matériaux argileux peuvent être synthétisées de la façon suivante (Berton et Le Berre, 1983) :

• Phases préliminaires :

- prélèvement d'échantillons sur les affleurements (tarière à main) ;
- analyses et tests :
 - . sur tous les échantillons :
 - granulométrie : teneur en éléments $> 40 \mu\text{m}$ (l'absence de refus sur le tamis à $40 \mu\text{m}$ traduit une forte teneur en kaolinite) ;
 - calcimétrie ;
 - analyse minéralogique (diffractométrie de rayons X) ;
 - . sur quelques échantillons sélectionnés :

- tests de cuisson sommaires à 1000, 1100, 1200 et 1300° C sur pâte normale :
définition de la perte au feu, de la coloration, de l'absorption d'eau et du retrait.
- **Etudes de gisements :**
 - prospection par géophysique (sondages électriques) et sondages mécaniques :
 - . maille : 4 sondages/ha ;
 - . moyens : - sondages à la tarière mécanique pour une couverture faible ;
- carottage (ou rotoperçusion dans le cas d'induration) de la découverte et du niveau argileux pour une couverture importante ;
 - . objectifs : - reconnaissance des épaisseurs du recouvrement et du niveau exploitable ;
- prélèvement d'échantillons (1 par m de sondage).
 - analyses et tests :
 - . sur tous les échantillons : comme pour les phases préliminaires ;
 - . sur quelques échantillons sélectionnés :
 - analyse chimique des éléments majeurs ;
 - essais industriels : plasticité, coulabilité, retrait, cuisson à différentes températures, résistance mécanique, résistance pyroscopique, etc...
- **Essais technologiques semi-industriels en station pilote :**
 - prélèvement d'un échantillon de quelques tonnes à quelques dizaines de tonnes ;
 - conditionnement de l'échantillon : séchage, cuisson, broyage selon les cas ;
 - analyses et tests sur le produit obtenu (comme précédemment) ;
 - essais d'utilisation en liaison avec les branches professionnelles concernées (réfractaires, céramiques fines).

2.3 - CRITERES D'EXPLOITABILITE DES GISEMENTS

Les contraintes économiques conduisent à rechercher en priorité des gisements à exploiter à ciel ouvert, c'est-à-dire des niveaux argileux stratiformes, horizontaux, latéralement continus et situés en position superficielle.

Le rapport des épaisseurs découverte/niveau exploitable admissible peut atteindre 5 et la taille idéale d'un gisement exploitable est au minimum de l'ordre de 1 Mt (Berton et Le Berre, 1983).

Cependant, les exploitations souterraines ne sont pas à écarter systématiquement *a priori*, et peuvent se justifier économiquement compte tenu de la qualité intrinsèque des argiles et de l'abondance de la ressource.

2.4 - GISEMENTS FRANCAIS

2.4.1 - Généralités

Les principales régions françaises productrices d'argiles nobles, en termes de bassins de production et de départements concernés, sont les suivantes (fig. 1) :

- bassin "des Charentes" : Charente et Charente-Maritime ;
- bassin de Provins : Seine et Marne, Marne et Aube ;
- bassin du Centre Est : Allier, Nièvre, Saône et Loire, Yonne et Puy de Dôme ;
- bassin du Centre Ouest : Indre et Loire, Indre et Cher ;
- bassin du Sud-Est : Vaucluse, Gard, Var et Hautes Alpes.

Des exploitations sont également en activité dans les départements du Pas-de-Calais, du Calvados, de Loire Atlantique, de l'Essonne, du Lot et Garonne, de Haute Garonne et des Pyrénées Atlantiques.

Les argiles nobles extraites en France sont en fait, dans la plupart des cas, des "argiles grésantes maigres", c'est-à-dire des substances moins siliceuses et plus alumineuses que celles importées d'Allemagne notamment.

Selon le bassin producteur considéré, elles peuvent présenter des spécificités qui les destinent plus particulièrement à la fabrication de certains produits céramiques (L'industrie céramique, 1992) :

- les argiles de Beaulon (Allier), caractérisées par une faible teneur en matière organique et par une forte résistance mécanique après cuisson, sont d'une qualité exceptionnelle pour la monocuisson rapide de carreaux de sol ;
- les argiles de Tournon-Saint-Martin (Indre) assurent, du fait de leur teneur en montmorillonite (smectite), une très haute cohésion en cru des carreaux pressés ;
- le bassin de Provins recèle à la fois des argiles réfractaires, des argiles à forte cohésion pour les carreaux, et des argiles à haute cohésion et très bonne capacité de filtration pour les céramiques sanitaires ;
- le bassin "des Charentes" est réputé pour ses argiles à haute réfractarité.

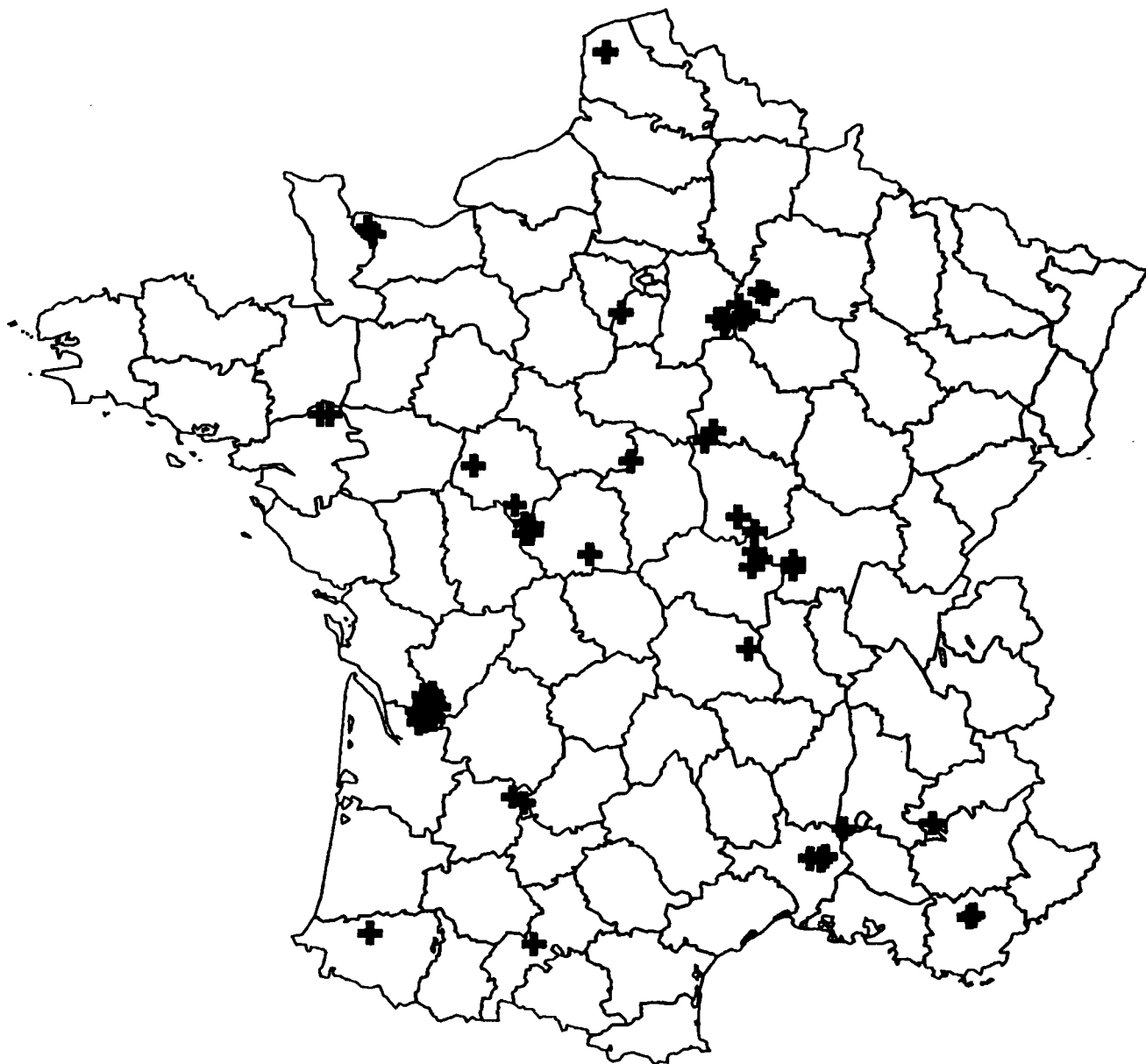


Fig. 1 - Carte de localisation des principaux gisements français d'argiles nobles pour produits céramiques

En dehors des sites d'extraction en activité, et de leurs extensions plus ou moins reconnues, notre pays possède des gisements d'intérêt économique non encore exploités, en région Aquitaine en particulier. L'exploration géologique réalisée dans cette dernière, dans le cadre d'un contrat de plan Etat-Région-BRGM, a permis de mettre en évidence des ressources économiques potentielles en argiles grésantes, notamment dans les Landes de Gascogne (secteurs d'Argelouse dans les Landes et de Cabanac en Gironde). Les essais industriels réalisés sur les argiles d'Argelouse, dont les réserves dépassent 1Mt, ont montré que celles-ci sont aptes à produire des carreaux de sol en monocuisson rapide, ainsi que des briques grésées (Dubreuilh, 1986). La mise en exploitation future de ces sites pourrait permettre à notre pays d'être moins dépendant des approvisionnements à l'étranger, les argiles grésantes à cuisson claire étant essentiellement importées d'Allemagne (région du Westerwald).

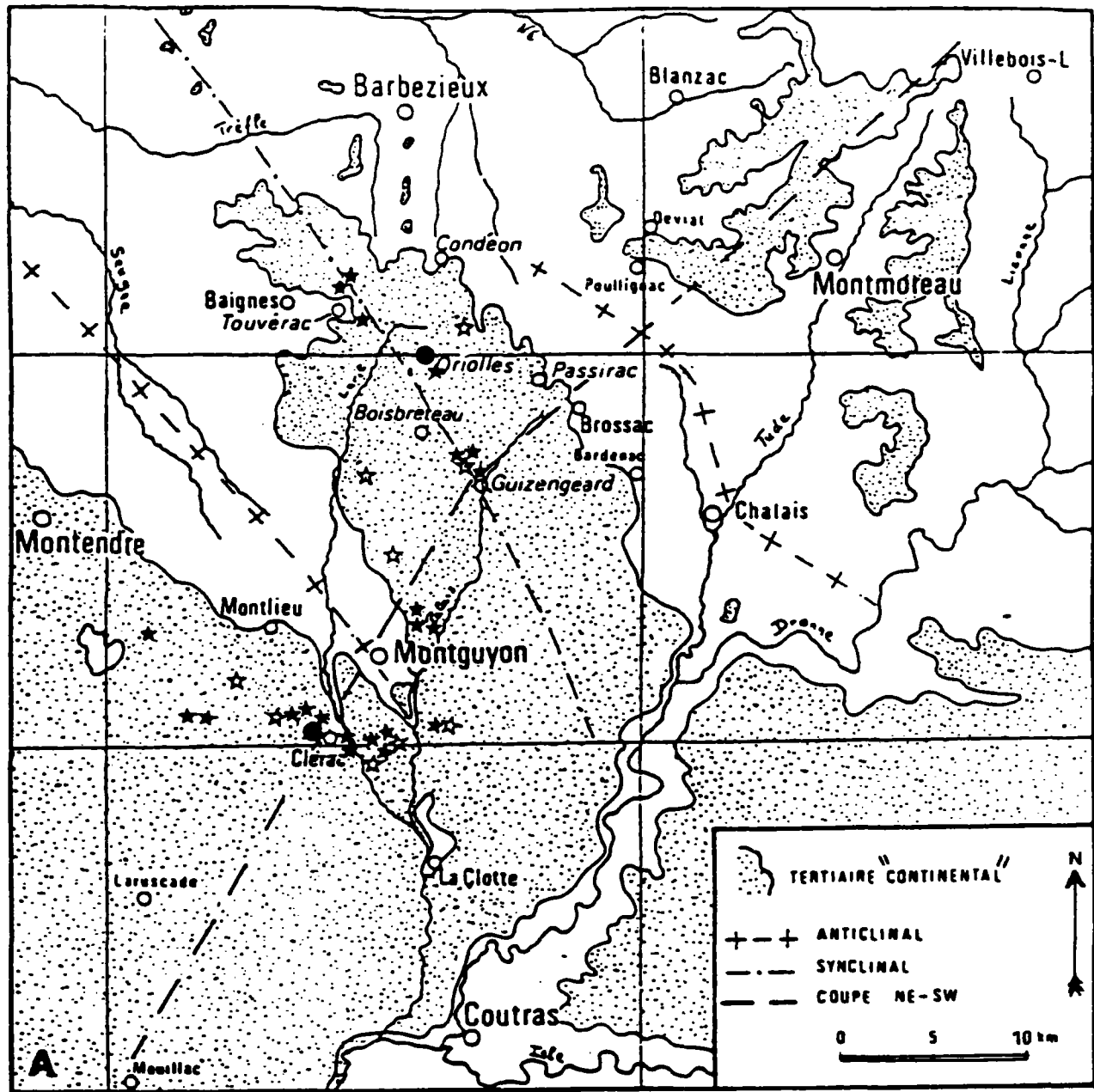
2.4.2 - Bassin argilier "des Charentes"

Les argiles kaoliniques "des Charentes" appartiennent aux formations continentales d'âge tertiaire qui affleurent principalement dans la partie méridionale du département de Charente Maritime, à une cinquantaine de kilomètres au Nord-Est de Bordeaux.

En tant qu'entité géologique, le bassin "des Charentes" correspond à des dépôts sédimentaires d'âge éocène inférieur à oligocène qui s'étendent jusqu'à leurs limites avec les formations calcaires du Campanien qu'ils recouvrent. Ces dépôts tertiaires sont constitués d'une succession complexe et apparemment désordonnée d'argiles, sables, graviers et galets, correspondant à des formations continentales détritiques à faciès "sidérolithique". Leur distribution géographique et leur épaisseur sont fortement influencées par une succession de rides anticlinales et synclinales qui affectent le substratum calcaire. Il s'agit, d'Est en Ouest, de l'anticlinal de Chalais-St Félix, du synclinal de Saintes-Barbezieux, principale zone contenant des formations détritiques riches en argiles kaoliniques (dont l'épaisseur peut dépasser la centaine de mètres au coeur du synclinal), et de l'anticlinal de Jonzac-Montguyon (fig. 2 ; Negroni, 1991).

Les étapes fondamentales des processus géologiques qui ont conduit à la formation de concentrations argileuses d'intérêt économique peuvent être résumées de la façon suivante (Negroni, 1991) :

- altération superficielle, sous climat chaud et humide, des roches cristallines du Massif Central et des formations calcaires du Périgord (fin Crétacé - début Tertiaire) ;
- installation, à l'Eocène inférieur, d'une zone deltaïque à la bordure nord-est de la mer d'Aquitaine, sur une plateforme carbonatée présentant des reliefs structuraux qui influencent la direction et l'organisation des chenaux d'écoulement du delta ;
- mobilisation, transport et dépôt des argiles en milieu fluvio-lacustre, concentration de la fraction argileuse des sédiments par séparation gravitaire ;
- comblement par la sédimentation détritique et progradation de la zone deltaïque vers la mer ouverte au Sud-Ouest ;



- ☆ Exploitation en cours
- ★ Sites sélectionnés pour prélèvements de l'inventaire

Fig. 2 - Carte de localisation des formations tertiaires du bassin "des Charentes" (d'après Negroni, 1991).

- évolution chimico-minéralogique des dépôts au cours des processus de diagenèse ; pour certaines argiles charentaises, cette évolution s'accompagne d'un enrichissement en alumine lié à la cristallisation de gibbsite ;
- retour en milieu continental avec comme conséquence un décapage partiel des dépôts sablo-argileux au sein desquels sont préservées les argiles kaoliniques.

Dans les cas les plus favorables, les dépôts argileux ainsi formés présentent les caractéristiques suivantes qui en font des cibles d'intérêt industriel de premier ordre (Negroni, 1991) :

- abondance de la fraction argileuse dans la roche totale ($> 90 \%$) ;
- pureté minéralogique de cette fraction : prédominance de la kaolinite ;
- granulométrie : finesse exceptionnelle.

Les gisements d'argiles nobles du bassin "des Charentes" ont le plus souvent une forme lenticulaire, et leur taille varie d'une centaine de milliers de tonnes à plusieurs millions de tonnes. Le caractère lenticulaire des dépôts argileux impose qu'une prospection géologique soit menée en permanence.

L'exploitation s'effectue à partir de 25 sites environ, dont une dizaine fait l'objet d'une extraction simultanée (Negroni, 1991). Les niveaux exploités sont épais de 3 à 8 m suivant les sites, la découverte pouvant atteindre 30 à 40 m de puissance.

Les propriétés de ces argiles sont les suivantes :

- haute teneur en alumine sur cuit : $35 \% \leq \text{Al}_2\text{O}_3 \leq 45 \%$;
- faible teneur en fer et titane : $\text{Fe}_2\text{O}_3 \leq 1,8 \%$, $\text{TiO}_2 \leq 1,8 \%$;
- faible teneur en éléments alcalins et alcalino-terreux : $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} \leq 1 \%$,
 $\text{CaO} + \text{MgO} \leq 0,6 \%$;
- coloration blanc-crème à la cuisson ;
- caractéristiques rhéologiques permettant tous les procédés de fabrication par coulage.

2.4.3 - Bassin argilier de Provins

Les argiles du bassin de Provins, d'âge sparnacien, appartiennent aux formations du "Sidérolithique" de l'Eocène inférieur (Yprésien) qui plongent faiblement de la bordure vers le centre du Bassin Parisien, en discordance plus ou moins marquée avec le substratum crétacé.

La structure du bassin est donc assez régulière dans son ensemble, mais des ondulations de faible amplitude peuvent néanmoins rapprocher le niveau argileux et la surface topographique.

Les argiles plastiques du Sparnacien correspondent à un ensemble pouvant atteindre une dizaine de mètres d'épaisseur, ainsi subdivisé de la base au sommet (Colson, 1979) :

- argile à particules ferrifères, à nodules pyriteux et traces charbonneuses ;
- argiles grises ou brunes à teneur élevée en alumine (35 à 40 % de Al_2O_3 sur cuit), épaisses de 0,5 à 4,5 m (qualité "réfractaire") ;
- zone de transition plus ou moins sableuse ;
- argiles de teinte claire, plus riches en silice fine (qualité "faïence"), épaisses de 1 à 3,5 m ;
- argile sableuse et sables argileux supérieurs.

Le mode de formation des gisements d'argiles nobles du bassin de Provins peut être ainsi résumé (Colson, 1979) :

- lessivage intense (altération de type latéritique) des roches éruptives du Massif Central au début du Tertiaire, et transport des matériaux détritiques vers le Nord-Est par le couloir du Morvan ;
- formation d'un premier dépôt argileux à éléments fins, de type "réfractaire", dans une lagune calme et en milieu réducteur ;
- transformation dynamique du premier dépôt par mise en place d'un système de chenaux avec transport du matériel grossier, et latéralement, dans les zones plus calmes, dépôt des éléments fins (quartz et kaolinite, ou kaolinite seule), d'où constitution des gisements actuels. Cette dernière phase de sédimentation a accompagné les mouvements tectoniques du Bassin Parisien et épouse les ondulations pré-existantes, du Crétacé en particulier.

Les argiles nobles du bassin de Provins ont donc une origine fluvio-lacustre, elles correspondent à des dépôts lenticulaires (leur largeur ne dépasse guère 300 m) et sont constituées presque exclusivement de kaolinite (plus l'argile est kaolinique, donc réfractaire, plus les particules sont fines) et de quartz (50 % pour la qualité "faïence", 0 à 5 % pour la qualité "réfractaire"). Les autres minéraux présents sont les suivants : micas (traces), interstratifiés kaolinites-smectites, smectites, oxydes de titane, minéraux du fer (sidérite, pyrite, sulfates, goethite et hématite), calcite et gypse (Colson, 1979).

Les propriétés spécifiques des argiles du bassin de Provins, associées entre elles, sont la plasticité et la résistance mécanique.

2.5 - MODES D'EXPLOITATION ET DE TRAITEMENT DES MATERIAUX

Du fait des contraintes économiques, les argiles nobles ne sont aujourd'hui exploitées en France que dans des carrières à ciel ouvert. La dernière exploitation souterraine a cessé son activité en 1986, dans le bassin de Provins. Dans certains pays, la qualité des argiles (cuisant clair par exemple) peut justifier d'avoir recours à des moyens d'exploitation souterrains. C'est le cas en Angleterre (Devon et Dorset), en Allemagne (Westerwald) et en Espagne notamment.

Le décapage de la découverte et l'extraction des argiles sont effectués au moyen d'engins mécaniques.

L'extraction des argiles peut parfois être sélective, réalisée par gradins, quand les niveaux de qualité différente sont suffisamment épais et bien individualisés.

Dans le cas contraire, elle se fait à l'aide d'un excavateur à godets qui prélève sur toute la hauteur du front de taille, assurant un brassage des matériaux et permettant d'obtenir une qualité moyenne.

Les différentes phases de traitement les plus courantes, depuis l'extraction jusqu'à l'expédition, sont résumées à la figure 3.

Les traitements appliqués aux argiles brutes varient d'une exploitation à l'autre. Ils peuvent être très sommaires ou relativement élaborés selon les cas. D'une manière générale, ils ne transforment pas fondamentalement les argiles, contrairement à ce qui est pratiqué pour les kaolins qui sont des produits purs composés de kaolinite, obtenus par épuration (élimination de tous les autres composants) de matériaux d'origines diverses (Pasquet, 1988).

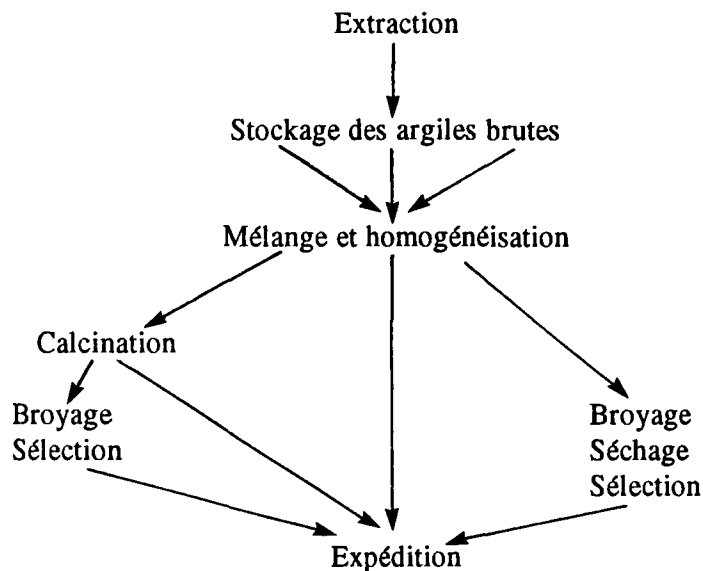


Fig. 3 - Schéma type d'une installation de traitement d'argiles nobles pour produits céramiques (d'après Teyton et Vaucquelin, 1988).

Après extraction, les matériaux argileux sont acheminés vers des aires de stockage et/ou de mélange proches des unités de fabrication. On a recours au mélange d'argiles, provenant d'un même gisement ou de différentes origines, afin :

- d'améliorer les caractéristiques des matériaux nécessaires à la fabrication de produits céramiques spécifiques ;
- d'atteindre une composition typique moyenne stable (fluctuations naturelles des qualités des matériaux bruts minimisées).

A partir de ce stade, les argiles peuvent faire l'objet des traitements thermiques et mécaniques suivants (Negroni, 1991) :

- émottage : préparation mécanique par des déchiqueteurs à cylindres permettant d'effectuer des opérations de mélange-homogénéisation et d'obtenir des argiles crues commercialisables ; parfois avec séparation magnétique pour abaisser les teneurs en fer ;
- séchage : élimination de l'eau libre et de quelques traces de matière organique ;
- broyage : atteinte de la maille de libération de certaines impuretés minéralogiques et révélation de la finesse naturelle des kaolinites ;
- sélection dynamique et cyclonage : extraction des impuretés, obtention de caractéristiques granulométriques définies ;
- bouletage : mise en forme par pressage ou extrusion pour obtenir des boulets ou boudins ;
- calcination : ligne de cuisson (fours rotatifs ou verticaux) à haute température (jusqu'à 1550° C) menant à la formation des chamottes.

La calcination modifie totalement la composition minéralogique des argiles. La chamotte est un mélange silicaté à base de mullite et de cristobalite. La teneur en alumine des chamottes réfractaires peut varier de 35 à 47 %.

La production des produits élaborés de type chamottes épurées (fig. 4), en particulier destinés au secteur des céramiques sanitaires, nécessite l'élimination des impuretés métalliques parfois contenues dans les argiles (pyrite et chalcopryrite par exemple). Ces impuretés peuvent avoir un effet sur la coloration de surface des pièces. De ce fait, les argiles subissent, après un séchage (humidité < 0,5 %) et un broyage (particules < 1 mm), une classification dans l'air qui permet l'élimination des particules les plus grossières (taille supérieure à 20 μm).

La fraction argileuse pure ainsi obtenue est ensuite agglomérée seule (pour l'élaboration d'une chamotte pure classique) ou après adjonction de quartz à 80 μm (pour l'élaboration d'une chamotte siliceuse présentant des propriétés de dilatation supérieures). La calcination est réalisée le plus souvent dans un four rotatif à une température de 1350 à 1400°C. Les chamottes peuvent ensuite faire l'objet d'un broyage et d'un calibrage. L'homogénéisation par mélange qui s'ensuit, après ajout éventuel de composants spécifiques, constitue le dernier stade de fabrication des chamottes calibrées (Teyton et Vaucquelin, 1988).

Les produits sont commercialisés sous différentes formes :

- argiles crues : brutes ; déchiquetées (humides ou séchées) ; séchées et broyées ;
- chamottes : brutes ; déchiquetées ; broyées, séchées et épurées.

Dans le passé, les fabricants de produits céramiques achetaient habituellement des argiles de différentes sources et les mélangeaient dans leurs propres usines pour obtenir les propriétés requises. Ces dernières années, l'utilisation d'argiles prémélangées préparées a éliminé le besoin de ces fabricants de maintenir d'importants stocks de différentes argiles. C'est ainsi que la pratique du mélange et de la commercialisation de masses prêtes à l'emploi par les producteurs d'argiles a rapidement augmenté en Europe (Loughbrough, 1992).

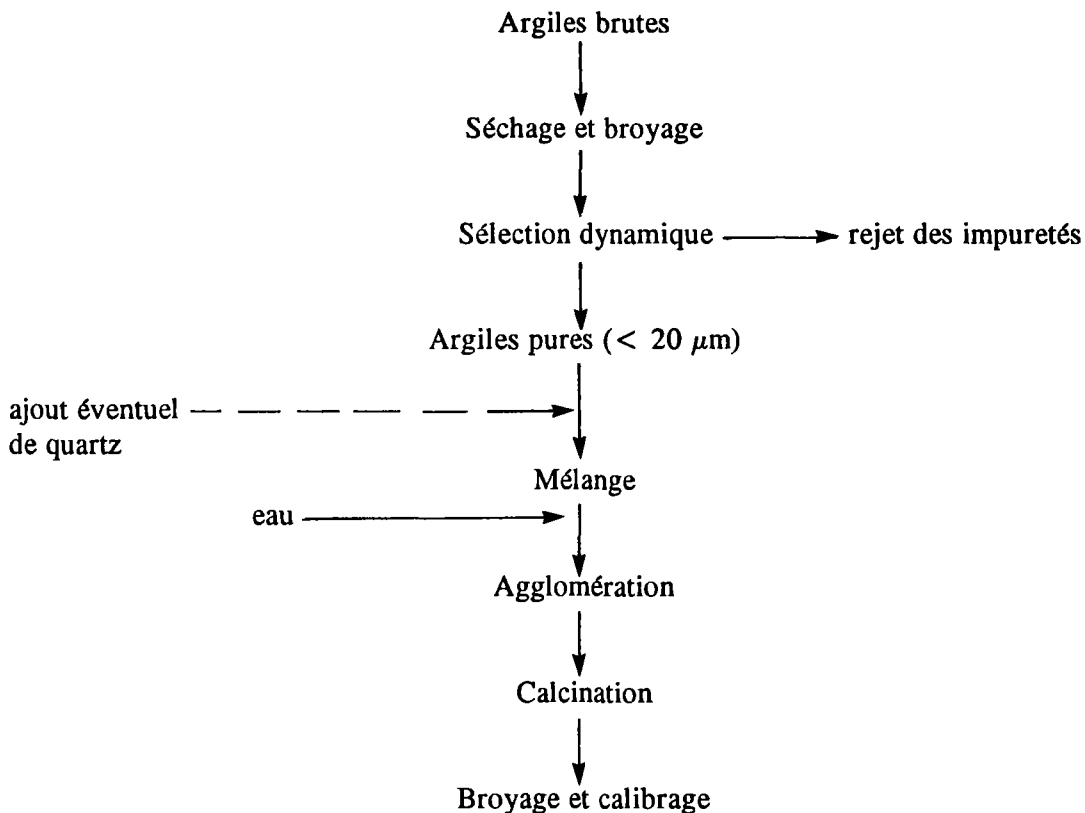


Fig. 4 -Schéma type d'une unité de production de chamottes épurées (d'après Teyton et Vaucquelin, 1988).

3 - PROPRIETES CHIMIQUES, MINERALOGIQUES, PHYSIQUES ET TECHNOLOGIQUES

3.1 - GENERALITES

Les argiles utilisées dans l'industrie céramique présentent des caractéristiques d'ordre chimique, minéralogique, physique et technologique qui peuvent en partie être corrélées entre elles.

La composition chimique et minéralogique, la granulométrie et la teneur en matière organique constituent quelques unes des propriétés fondamentales des argiles.

A titre d'exemple, la teneur en matière organique influe sur la viscosité, la défloculation et la thixotropie des argiles, et donc sur la stabilité des barbotines (Glasson, 1991). Les argiles qualifiées de "grésantes", riches en illite (kaolinoillitiques) et en matière organique, présentent les caractéristiques générales suivantes :

- teneur en alumine relativement basse (25 à 30 %) ;
- teneur en impuretés fondantes (minéraux alcalins et ferromagnésiens) substantielle ;
- bonne plasticité (aptitude au coulage et au moulage) ;
- bonne résistance mécanique après cuisson ;
- absorption d'eau (porosité) très faible après cuisson à 1250°C.

3.2 - COMPOSITION CHIMIQUE ET MINERALOGIQUE

Classiquement, les argiles kaoliniques sont classées en fonction de leur teneur en alumine, calculée sur cuit :

- argiles alumineuses : $35 \% < \text{Al}_2\text{O}_3 < 40 \%$;
- argiles hyperalumineuses : $\text{Al}_2\text{O}_3 > 40 \%$.

On distingue habituellement quatre classes d'argiles utilisées dans le secteur des produits réfractaires, d'après leur teneur en alumine : Al_2O_3 entre 32 et 35 %, entre 35 et 38 %, entre 38 et 40 % et $> 40 \%$.

Le caractère réfractaire des argiles augmente avec leur teneur en alumine qui dépend elle-même principalement de la teneur en kaolinite. Dans certains cas, la présence d'hydrates d'alumine permet d'atteindre une teneur en alumine supérieure à celle de la kaolinite pure.

A l'inverse, la "fluidisation" augmente avec la teneur en éléments fondants (Fe_2O_3 , K_2O , Na_2O , MgO , CaO , TiO_2) et définit le caractère grésant d'une argile.

Les compositions chimiques des argiles nobles exploitées en France, en Allemagne et en Angleterre, ainsi que de la kaolinite pure, sont consignées dans le tableau 1.

Références	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SiO ₂	45,7					56,0	60,3	51,60	66,0	55,7	53	45,80
Al ₂ O ₃	36,6	19,05	24,4	20,29	23,40	28,1	22,2	32,66	23,0	25,7	30	39,55
Fe ₂ O ₃	1,3	1,00	1,4	1,78	2,10	1,6	7,3	1,18	1,2	2,0	1,2	0,57
FeO												0,18
MgO	0,2					1,3	0,4	0,22	0,5	1,0		0,14
CaO	0,2					0,5	0,6	0,36	0,2	0,7		0,41
Na ₂ O	0,1					0,2	0,1	0,25	0,2	} 1,1	0,3	-
K ₂ O	0,5	0,20	0,3	1,85	1,50	0,7	2,4	0,68	2,2		2,0	0,03
TiO ₂	1,4	1,70	1,1	1,68	1,20	0,4	0,9	1,43	1,6	0,6	1,0	-
Carbone		0,21	0,21	0,08	0,22						2,2	
Sels solubles											0,13	
Perte au feu	14,0	7,50	9,20	6,30	7,90	10,7	5,3	11,59		9,1	12,2	14,09

Données en % pondéraux

Références :

- 1 - KR1, argile crue déchetée, bassin "des Charentes" (42,5 % Al₂O₃ sur cuit)
- 2 - RS587, argile recomposée, qualité "sanitaires", bassin de Provins
- 3 - RC869, argile recomposée, qualité "carreaux-porcelaine", bassin de Provins
- 4 - RS528, argile recomposée, qualité "sanitaires", Beaulon (Allier)
- 5 - RC564, argile recomposée, qualité "carreaux-grès émaillé", Beaulon (Allier)
- 6 - TSM"C", argile déchetée humide, couleur blanche, Tournon Saint Martin (Indre)
- 7 - LR, argile en mottes, couleur rouge, utilisation "carreaux", Littry (Calvados)
- 8 - Argile réfractaire brute, Breuillet (Essonne)
- 9 - Argile qualité "porcelaine", Westerwald, Allemagne
- 10 - Argile grésante crue, composition type moyenne, Westerwald, Allemagne
- 11 - Hycast VC, argile recomposée, type "ball clay", Devon et Dorset, Angleterre
- 12 - Kaolinite, Niigata, Japon (*in Deer et al.*, 1969).

Tabl. 1 - Compositions chimiques d'argiles nobles crues utilisées en Europe dans l'industrie céramique.

Par ailleurs, le tableau 2 indique les compositions chimiques de quelques chamottes provenant d'un des premiers bassins producteurs d'Europe, à savoir celui "des Charentes".

Références	1	2	3	4
SiO ₂	49,7	56,7	58,3	72,2
Al ₂ O ₃	47,0	38,5	38,3	24,5
Fe ₂ O ₃	1,0	1,6	1,4	1,3
MgO	0,3	0,3	} 0,3	0,2
CaO	0,3	0,3		
Na ₂ O	0,1	0,1	} 0,6	0,5
K ₂ O	0,3	0,8		
TiO ₂	1,3	1,7	1,5	1,2

Données en % pondéraux

Références :

- 1 - 47R, chamotte réfractaire
- 2 - chamotte céramique
- 3 - chamotte épurée, type "classique"
- 4 - chamotte épurée, type "haute dilatation"

Tabl. 2 - Compositions chimiques de quelques chamottes produites dans le bassin "des Charentes".

D'un point de vue minéralogique, la kaolinite est le constituant majeur des argiles nobles, représentant une phase à granulométrie fine et le plus souvent faiblement ordonnée. Les autres minéraux argileux susceptibles d'être présents sont l'illite, les smectites, la chlorite et les interstratifiés, parfois l'halloysite. L'illite peut prédominer sur la kaolinite dans certains matériaux.

Le quartz est la phase non argileuse de loin la plus fréquente, représentant quelques % de la roche totale, jusqu'à 30 % dans certains gisements. Les autres composants (mineurs et traces) les plus courants sont les feldspaths (plagioclase, feldspath potassique), la calcite et la matière organique.

Les compositions minéralogiques des principales argiles importées en France pour l'industrie céramique, à savoir les "ball clays" anglaises (région du Devon) et les argiles grésantes allemandes (région du Westerwald), sont précisées à la figure 5.

Les variations de la teneur en kaolinite, du degré d'ordre de sa structure cristalline et de la teneur en autres composants (minéraux argileux et non argileux, matière organique) expliquent la gamme étendue des argiles nobles du point de vue de leurs propriétés technologiques.

3.3 - PROPRIETES PHYSIQUES ET TECHNOLOGIQUES

D'un point de vue technologique, les argiles réfractaires doivent présenter les caractéristiques suivantes :

- excellente aptitude au coulage ;
- plasticité moyenne ;
- résistance pyroscopique très élevée.

La définition conventionnelle adoptée internationalement (ISO) est la suivante : "Un réfractaire, matière réfractaire ou produit réfractaire, est constitué de matières et produits non métalliques (mais n'excluant pas ceux contenant un constituant métallique) dont la résistance pyroscopique est équivalente à 1500° C au minimum".

Les principales propriétés physiques et technologiques des argiles, qui peuvent faire l'objet de contrôle avant la mise en fabrication des produits, sont globalement les suivantes :

- granulométrie ;
- surface spécifique ;
- cohésion ;
- résistance mécanique ;
- plasticité/fluidité/viscosité ;
- thixotropie ;
- coulabilité/rhéologie/déflocculation ;
- dilatométrie ;
- résistance pyroscopique ;
- porosité ;
- absorption d'eau ;
- coloration.

Leur importance relative dépend bien évidemment des procédés de fabrication et des spécificités des produits finis.

Quelques données chiffrées relatives aux caractéristiques physiques et technologiques d'argiles crues et de chamottes commercialisées pour l'industrie céramique sont consignées respectivement dans les tableaux 3 et 4.

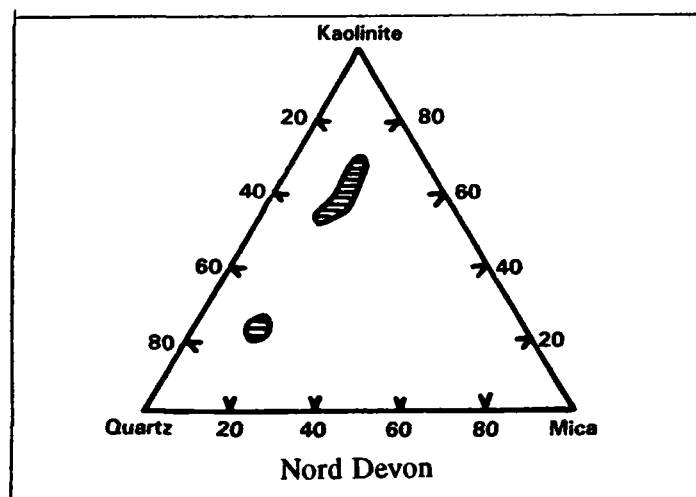
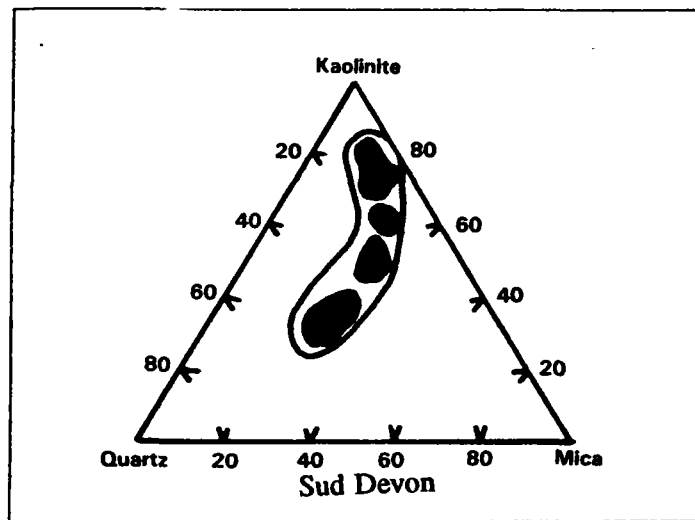
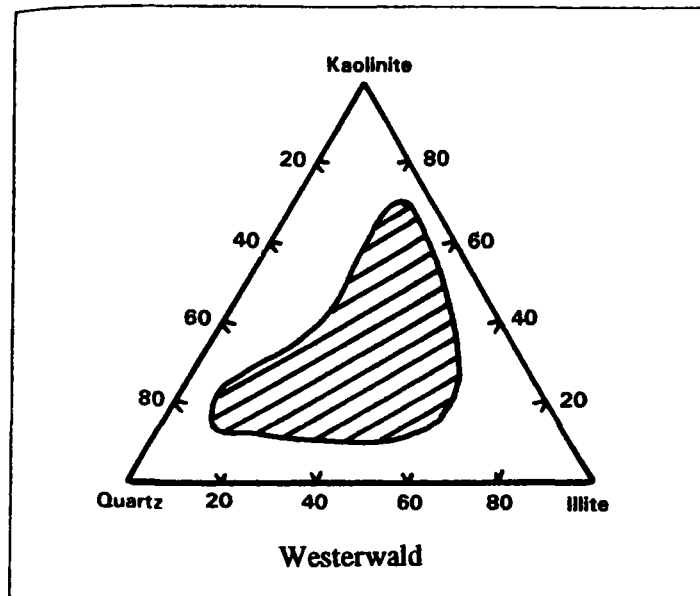


Fig. 5 - Compositions minéralogiques des argiles du Westerwald/Allemagne et du Devon/Angleterre (in Russel, 1988).

Références	1	2'	3	4	5	6	7	8
Granulométrie (%)	* 200µm : 0 125µm : 0,2 40µm : 0,9	> 40µm : 6,00 < 1µm : 37,50	* 200µm : 0,27 100µm : 0,86 40µm : 6,71	> 40µm : 6,00 < 1µm : 37,50	* 200µm : 1,41 100µm : 1,88 40µm : 5,17	* 100µm : 0 63µm : 0,1 40µm : 0,3	* 100µm : 0 63µm : 0 40µm : 0,3	+125µm : 1,5 + 53µm : 2,5 - 5µm : 93 - 2µm : 81 - 1µm : 69 - 0,5µm : 56
Fluidité : solides (% poids)								à 0,5Pa s : 66,5 .défloc.0,7Pa s : 0,8 .défloc.0,5Pa s : 1,1
Résistance pyroscopique	°C : 1770 Cs : 34-35					Cs : 32	Cs : 11	
Résistance mécanique (étirage) (kg/cm ²)		65	165	38	110	90**	50**	
Résistance (MPa) MOR (110°C)								5,5
Surface spécifique MBI (mg/g)								25
Humidité (%)	20							
Retrait en cuit (%)	1300°C:15,8	1230°C:11,0	1230°C:6,34	1230°C:11,90	1230°C:5,66	1230°C:6,0	1160°C:6,5	1180°C:137,0
Absorption d'eau en cuit (%)	1300°C:3,0	1230°C:9,30	1230°C:4,96	1230°C:8,90	1230°C:1,85	1230°C:8,0	1160°C:2,0	1180°C:5,5

* refus cumulés sur tamis d'ouverture

** par pressage (module de rupture)

Références :

1 - KR1, argile crue déchiquetée, bassin "des Charentes"

3 - RC869, argile recomposée, qualité "carreaux-porcelaine", bassin de Provins

5 - RC564, argile recomposée, qualité "carreaux-grès émaillé", Beaulon (Allier)

7 - LR, argile rouge en mottes, utilisation "carreaux", Littry (Calvados)

2 - RS587, argile recomposée, qualité "sanitaires", bassin de Provins

4 - RS528, argile recomposée, qualités "sanitaires", Beaulon (Allier)

6 - TSM"C", argile blanche déchiquetée humide, Tournon Saint Martin (Indre)

8 - Hycast VC, argile recomposée type "ball clay", Angleterre

Tabl. 3 - Caractéristiques physiques et technologiques de quelques argiles crues utilisées dans l'industrie céramique.

Références	1	2	3	4
Densité apparente	2,52	2,32	2,30	2,12
Porosité ouverte	6	10	10	16
Dilatation (%)		600°C : 4,2	700°C : 4,3	700°C : 5,8
Indice de dilatation de 20 à 700°C ($10^{-6}^{\circ}\text{C}^{-1}$)			6,3	8,5
Résistance pyroscopique	°C : 1810 Cs : 36	°C : 1730 Cs : 33		

Références :

- 1 - 47R, chamotte réfractaire
- 2 - chamotte céramique
- 3 - chamotte épurée, type "classique"
- 4 - chamotte épurée, type "haute dilatation"

Tabl. 4 - Caractéristiques physiques et technologiques de quelques chamottes produites dans le bassin "des Charentes".

4 - SECTEURS D'UTILISATION ET SPECIFICATIONS INDUSTRIELLES

4.1 - GENERALITES

Les céramiques, à l'instar des verres, sont par définition des produits constitués, pour la plupart d'entre eux, de composés naturels tels que les silicates, traités à des degrés divers à haute température. Les caractéristiques principales de ces produits sont :

- une bonne résistance à l'usure, à l'abrasion et à la corrosion ;
- un bon comportement à chaud (température de fusion élevée, stabilité chimique), d'où des applications de type réfractaire.

Le terme de "produits céramiques" est donc étroitement lié aux notions de "matières premières minérales" et de "hautes températures". La technique céramique consiste à provoquer des transformations irréversibles par cuisson de matières premières minérales préalablement mises en forme. Elle permet une consolidation des produits pulvérulents de départ et aboutit à l'élaboration de matériaux de synthèse durs et rigides, capables de résister aux agressions chimiques et physiques, notamment à l'action de l'humidité.

Les matières premières minérales ont une importance déterminante dans l'industrie céramique puisqu'elles confèrent, après cuisson, leurs caractéristiques aux produits finis.

Les argiles nobles sont employées sous deux formes :

- à l'état cru, elles permettent le façonnage (mise en forme) et assurent cohésion et plasticité ;
- à l'état cuit (chamottes), elles constituent dans les masses un "squelette" réfractaire qui prévient les dégradations en cru (fissures) et/ou en cuit (réduction de la déformation pyroplastique).

Les différentes phases de fabrication des produits céramiques sont précisées sur le schéma de la figure 6.

La technique de préparation des mélanges dépend du procédé de façonnage utilisé (L'industrie céramique, 1992) :

- étirage : les mélanges sont préparés sous forme de pâtes plastiques ;
- coulage : les argiles sont mises en suspension dans l'eau puis des dégraissants et fondants sont ajoutés pour former une barbotine ;
- calibrage : des galettes sont préparées par étirage d'une pâte résultant du filtre-pressage d'une barbotine ;
- pressage : les poudres sont obtenues soit par atomisation (séchage par pulvérisation) d'une barbotine, soit par granulation en voie semi-humide.

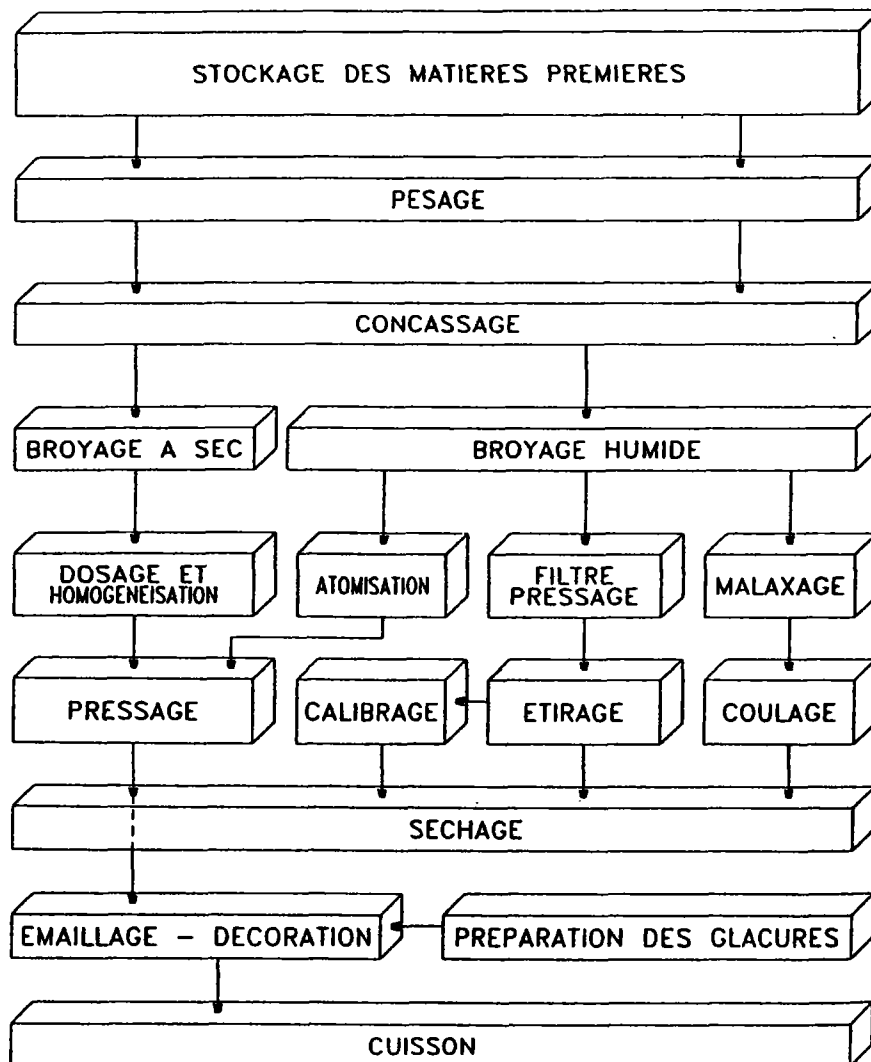


Fig. 6 -Schéma simplifié du processus de fabrication des produits céramiques (d'après L'industrie céramique, 1992).

Les chiffres clés relatifs aux aspects économiques de l'industrie céramique française, hors céramiques techniques avancées et tuiles et briques, étaient les suivants pour l'année 1991 (L'industrie céramique, 1992) :

- 8,8 milliards de F.F. H.T. de chiffre d'affaires, dont 40 % à l'exportation ;
- 210 entreprises réparties en 6 secteurs d'activité ;
- 312 établissements de production ;
- 20 500 salariés ;
- taille des entreprises : 35 % < 50 personnes ;
53 % de 50 à 500 personnes ;
12 % > 500 personnes.

Il est à noter que les argiles nobles, kaoliniques, sont par ailleurs employées comme charges minérales dans différents produits (caoutchoucs, plastiques, engrais,...) et comme liants (adjuvants) dans l'alimentation animale. Des utilisations de ces argiles se sont développées également, notamment en Allemagne, dans le domaine de la protection de l'environnement, par exemple pour le confinement de déchets toxiques.

4.2 - PRODUITS CERAMIQUES CONCERNES

Le terme de "céramiques fines" englobe trois types de produits : les céramiques sanitaires, les carreaux de revêtement et la vaisselle (porcelaine et faïence).

Celui de "céramiques du bâtiment" s'applique aux deux premiers précédemment cités.

Les argiles nobles servent à la fabrication d'une gamme variée de produits céramiques : produits réfractaires, céramiques sanitaires, carreaux de revêtement de sols et murs, vaisselle (porcelaine et faïence) et poteries. Les caractéristiques de ces produits et leurs secteurs d'utilisation sont mentionnés au tableau 5.

*** Produits réfractaires**

Les argiles nobles servent principalement à la fabrication de produits réfractaires argileux à silico-argileux (argiles réfractaires utilisées comme liants et après transformation en chamottes), isolants et non façonnés préparés. Ces produits équipent les fours d'industries diverses (sidérurgie, fonderie, verrerie, cimenterie, céramique) et autres installations thermiques.

*** Céramiques sanitaires**

Il s'agit de produits de type vitreux et de type grès (lavabos, vasques, éviers,...). Les argiles contrôlent le processus de façonnage et participent à la vitrification. Les chamottes assurent la stabilité du matériau lors de la cuisson des pièces de grand format. La fabrication de l'émail ne fait pas appel normalement aux argiles.

Mémento roches et minéraux industriels - Argiles nobles pour produits céramiques

	Caractéristiques	Types de produits	Utilisations
Produits de terre cuite	<p>Matières premières : marnes et argiles.</p> <p>Cuisson : 900 / 1 000 °C</p> <p>Produits poreux naturellement colorés.</p>	Bruts, émaillés ou vernissés	<p>Tuiles et accessoires (vernissées ou non)</p> <p>Briques pleines, creuses, et de parement, Hourdis</p> <p>Conduits de fumées, boisseaux de cheminées</p> <p>Tuyaux de drainage</p> <p>Carreaux de dallage</p> <p>Poteries horticoles, culinaires et ornementales</p>
Faïences	<p>Matières premières : argiles, kaolins, quartz et matières d'addition.</p> <p>Cuisson : 950 à 1 250°C</p> <p>Produits à tesson poreux recouvert par un émail transparent ou opaque</p>	<p>à pâte siliceuse</p> <p>à pâte argileuse (colorée ou blanche)</p>	<p>Vaisselle de table</p> <p>Pièces décoratives</p> <p>Carreaux de revêtement mural</p>
Grès	<p>Matières premières : argiles grésantes, kaolins, feldspaths, quartz, etc.</p> <p>Cuisson : 1 200 / 1 250°C</p> <p>Tesson vitrifié recouvert ou non d'un émail. Résistance à l'usure, au poinçonnement, aux agents chimiques</p>	Grès cérame fin vitrifié. Grès étiré, Grès émaillé	Carreaux de sol et mur
		Gros grès, Grès fin	Pièces sanitaires
		Grès anti-acide	Grès de chimie
		Poterie de grès	Vaisselle utilitaire, Pièces décoratives et de construction
Porcelaines	<p>Matières premières : kaolins, argiles cuisant blanc, feldspaths, quartz, fritte, talc, os, etc... avec ou sans additions.</p> <p>Cuisson : 1 100 - 1 300°C</p> <p>Tesson vitrifié recouvert ou non d'un émail transparent</p> <p>Pâte fine et blanche translucide sous faible épaisseur (2mm).</p>	Dures (feldspathiques, cordiéritiques, stéatites, ...)	Vaisselle de table, pièces décoratives, porcelaine dentaire, pièces d'électrotechnique, bougies de moteur
		Vitreous China	Appareils sanitaires, vaisselle hôtelière et collectivités
		Tendres (à fritte, phosphatiques : bone china, ...)	Vaisselle de table, pièces décoratives
Produits réfractaires	<p>Matières premières réfractaires à base d'alumine, silice, dolomie, magnésie, zircon, carbone, etc...</p> <p>Cuisson 1 250 / 2 000°C</p> <p>Résistance aux températures élevées et à l'action physique ou chimique chaude ou froide</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Façonnés (denses ou isolants) : <ul style="list-style-type: none"> - briques - pièces de formes - Non façonnés (denses ou isolants) : <ul style="list-style-type: none"> - pisés - mélanges plastiques - bétons - mélanges projetables - enduits et revêtements de surface - matériaux de jointoiement (coulis et ciments réfractaires) - Fibres et matériaux à base de fibres céramiques <ul style="list-style-type: none"> - nappes, feutres, modules, pièces pré-formées, papiers, cordons, tresses - bourrelets - bétons fibreux, etc... 	<ul style="list-style-type: none"> - Applications dans toutes industries à équipements thermiques : <ul style="list-style-type: none"> - sidérurgie - métaux non ferreux - verre, céramique - ciments, chaux - chimie, pétrochimie - production d'énergie - installations d'incinération - chauffage
Céramiques techniques avancées	<p>Matières premières synthétiques de haute-pureté : oxyde, carbures, nitrures, borures, siliciures, tellurures, sulfures, fluorures, etc..</p> <p>Frittage jusqu'à 2 600°C</p> <p>Produits à hautes performances : électriques, magnétiques, optiques, chimiques, mécaniques, thermo-mécaniques, biologiques, etc</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Poudres - Fibres - Préformes - Composants - Pièces - Ensembles - Composites - Revêtements 	<ul style="list-style-type: none"> - Electronique & électricité : composants diélectriques, magnétiques ou semi-conducteurs - Aéronautique & spatial : trains, tuyères, boucliers thermiques - Automobiles : pots catalytiques, pièces chaudes de moteurs - Mécanique : outils de coupe, textile, abrasifs - Biomédical : implants et prothèses - Chimie, métallurgie : filtres, échangeurs - Optique, Nucléaire, etc...

Tabl. 5 - Grandes classes de produits céramiques (d'après L'industrie céramique, 1992).

*** Carreaux de revêtement**

Ces produits se différencient les uns des autres par leur usage (sol, mur), leur nature (grès, faïence) et leur technique de fabrication (étrés, pressés). On en distingue classiquement cinq types :

- les grès cérames, carreaux non émaillés pour les sols, obtenus par pressage de masses sèches ;
- les grès étrés, pour les sols, produits par extrusion de masses plastiques ;
- les grès émaillés, obtenus par pressage et destinés au revêtement des sols ;
- les faïences et assimilés pour les murs, produits pressés, fins et à texture poreuse ;
- les terres cuites, carreaux habituellement extrudés, bruts (sols) ou émaillés (murs).

Dans leur fabrication, les argiles jouent le rôle de plastifiants et les chamottes celui de dégraissants.

*** Vaisselle et poteries**

Le secteur de la vaisselle concerne deux types de pâtes (à porcelaine et à faïence), utilisées pour la fabrication de trois principales classes de produits : la vaisselle, les articles de fantaisie et les céramiques techniques (électro-porcelaine). La vaisselle *s.s.* regroupe différentes catégories de produits :

- terre cuite : poreuse et colorée ;
- faïence : poreuse et vernissée ou couverte d'un émail opaque ;
- grès : étanche et colorée ;
- vitréous, porcelaine : étanche, blanche et translucide.

Les pâtes, élaborées à partir de matières premières de haut de gamme (argiles notamment), sont ensuite épurées.

Le secteur des poteries comprend deux types de produits : les poteries et grès à usages domestiques (vaisselle, objets de fantaisie,...) d'une part, et les poteries horticoles d'autre part. Les argiles crues et les chamottes entrent dans la composition de différents grès et pots.

Les argiles nobles crues et les chamottes constituent une part variable des matières premières minérales nécessaires à l'industrie céramique, compte tenu des procédés de fabrication utilisés, des spécificités des produits finis élaborés et des pratiques en vigueur dans telle ou

telle usine ou société. Le tableau 6 indique les proportions d'argiles les plus courantes (valeurs moyennes) dans quelques formulations types de produits céramiques.

Les formulations sont difficiles à préciser en ce qui concerne le secteur des produits réfractaires, compte tenu du nombre important de paramètres impliqués. A titre indicatif, la proportion d'argiles peut varier de 10 à 50 % dans les produits argileux à silico-argileux, et de 0 à 5 % dans ceux à haute teneur en alumine (Société Française de Céramique, communication orale).

Deux types de produits céramiques précédemment évoqués sont fabriqués, au moins en partie, à partir d'argiles dites "communes" (Thibaut, 1991). Il s'agit des carreaux de revêtement en terre cuite et des poteries.

4.3 - EVOLUTION DE LA PRODUCTION FRANCAISE DE PRODUITS CERAMIQUES

L'évolution de la production française au cours de la dernière décennie a été variable selon les secteurs de l'industrie céramique considérés (Société Française de Céramique, communication orale).

A l'exception des produits isolants, le secteur des **produits réfractaires** a connu, entre 1981 et 1991, une diminution de la production de plus de 30 %, avec une stabilisation relative pour la période 1986-1990. Cette évolution est intervenue corrélativement à la diminution de la production française d'acier et de fonte, le secteur des produits réfractaires étant très fortement dépendant de l'activité de l'industrie sidérurgique.

La production française de **céramiques sanitaires** est restée relativement stable durant la période 1981-1991 (baisse de 2 %).

Le secteur des **carreaux de revêtement** a vu sa production croître de façon importante au cours de la même période, l'augmentation ayant été de 88 % entre 1982 et 1990.

Le secteur de la **vaisselle** (porcelaine et faïence) a connu une très forte décroissance entre 1982 et 1990, période au cours de laquelle la production nationale a été divisée par 2,5. Celui des **poteries** a également subi une récession durant la même période (production en baisse de 23 %).

Types de produits céramiques Types d'argiles	Céramiques sanitaires		Carreaux de revêtement				Porcelaine (pâte)	Faïence (pâte)	Poteries : grès et pots		
	vitréous	grès	murs	sols					culinaire	fantaisie et technique	grès
			faïence	grès émaillé	grès cérâme	grès étiré					
Argiles grésantes	25	-	15	43	35	50	5	5	-	-	-
Argiles kaoliniques	-	-	25	-	-	-	5	35	10	15	-
Argiles plastiques	-	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chamottes	-	50	-	-	-	20	-	-	10	5	10

Données en % pondéraux

Source des données : Société Française de Céramique

Tabl. 6 - Proportions moyennes d'argiles nobles entrant dans la fabrication des produits céramiques.

4.4 - SPECIFICATIONS INDUSTRIELLES

Il est très rare de trouver dans la nature un matériau argileux dont les propriétés sont telles qu'il peut être employé seul pour la fabrication d'un produit céramique déterminé. C'est ainsi que l'on a recours le plus souvent, pour constituer les pâtes céramiques, à un mélange de différentes matières premières minérales qui se subdivisent, d'après leurs propriétés technologiques, en trois groupes, adjuvants (colorants, opacifiants, renforçants) mis à part :

- matières "plastifiantes" : argiles et kaolins, qui donnent la plasticité et permettent la mise en forme ;
- matières "dégraissantes" : chamottes et silice, qui corrigent le comportement des argiles (au façonnage, au séchage et à la cuisson) et qui limitent le retrait au frittage, en constituant le "squelette" du produit ;
- matières "fondantes" : craie, calcaire, dolomie, feldspaths, néphéline, talc, wollastonite ; qui permettent le développement de phases liquides et abaissent la température de cuisson.

La combinaison judicieuse des propriétés, plus ou moins complémentaires ou antagonistes, de ces différentes substances permet d'obtenir au bout du compte les caractéristiques souhaitées pour la pâte.

Le procédé de fabrication utilisé, au niveau du façonnage en premier lieu, intervient également. Le moulage, le pressage ou le coulage exigent, pour une même catégorie de produits céramiques, des argiles aux propriétés rhéologiques différentes.

De ce fait, en considérant l'industrie céramique dans son ensemble, il n'existe pas à proprement parler de spécifications industrielles précises relatives aux argiles. Seuls des essais techniques et technologiques, réalisés sur les argiles et sur les pâtes dans lesquelles elles sont incorporées, peuvent permettre de déterminer l'intérêt de les utiliser industriellement. La composition chimique est une donnée tout à fait insuffisante pour caractériser une argile du point de vue de l'application en céramique. La composition minéralogique et la granulométrie des matériaux sont, dans une première approche, des paramètres importants.

Cependant, certains secteurs céramiques particuliers requièrent des matières premières argileuses aux caractéristiques bien déterminées. Cela concerne notamment leurs compositions chimiques et minéralogiques. A titre d'exemple, la fabrication de céramiques sanitaires et de vaisselle en porcelaine et faïence nécessite des argiles d'une grande blancheur (il en est de même pour les feldspaths et les kaolins) qui fourniront des pâtes cuisant blanc.

Par ailleurs, la baisse des temps de cuisson implique que la teneur en carbone des masses soit un paramètre de plus en plus important à contrôler, la calcination complète de ce composé ne pouvant pas s'opérer assez rapidement. Alors que les procédés traditionnels toléraient des teneurs en carbone de 3 %, la pratique de la cuisson rapide exige actuellement que ces teneurs soient réduites de moitié (Loughbrough, 1992).

Il n'existe pas, tant au plan français qu'europpéen, de normes officielles concernant la classification et la caractérisation techniques des différentes matières premières minérales nécessaires à la fabrication des produits céramiques.

En l'absence de spécifications industrielles précises et de normes strictes, tout au plus quelques critères de sélection relatifs aux compositions chimiques et minéralogiques des argiles nobles peuvent être énumérés (Berton et Le Berre, 1983) :

*** Secteur des produits réfractaires**

- teneur en kaolinite > 80 % (pour obtenir des teneurs en Al_2O_3 > 32 % sur cru et > 38 % sur cuit) ;
- présence de quartz (teneur \leq 25 %) souhaitée (dégraissant) ;
- présence d'hydrates d'alumine (gibbsite par exemple) souhaitée (augmente la teneur en Al_2O_3 et donc la réfractarité) ;
- éléments fondants non souhaités : Fe_2O_3 < 2,5 %, $CaO + MgO$ < 1 %, $K_2O + Na_2O$ < 1 % (donc en particulier présence de micas/illites, de feldspaths et d'oxydes de fer non souhaitée).

*** Secteur des céramiques fines**

- teneur en kaolinite comprise entre 50 et 80 % ;
- éléments colorants non souhaités (argiles cuisant blanc) : Fe_2O_3 < 2 %, TiO_2 < 2 % ;
- présence de quartz (teneur \leq 25 %) souhaitée (dégraissant) ;
- présence de feldspaths, micas/illites et calcite, à des teneurs \leq 25 %, souhaitée pour les produits grésés (argiles grésantes) ;
- présence de smectites (teneur < 5 %), d'halloysite et de matière organique souhaitée (amélioration des propriétés rhéologiques) ;
- présence de gypse et de sels solubles prohibée.

5 - ECONOMIE ET MARCHÉ

5.1 - PRODUCTION MONDIALE

Dans les années 1980 (Russel, 1989), on a connu, particulièrement en Europe, une très importante augmentation de la demande en argiles de type "ball clays" du fait de l'évolution technologique de la fabrication (cuisson rapide notamment), en particulier dans les secteurs des céramiques sanitaires et des carreaux de revêtement. Au contraire, la demande en argiles réfractaires a chuté fortement du fait du déclin du marché des produits réfractaires (sidérurgie,...) et de l'orientation de la production vers des produits plus performants, à haute teneur en alumine, qui n'impliquent plus les argiles. C'est ainsi que la consommation de produits réfractaires aux USA est passée de 500 000 t en 1980 à environ 225 000 t en 1985 (Dickson et Clarke, 1989).

Il n'est pas possible de connaître avec précisions, aux niveaux quantitatif et qualitatif, la production mondiale d'argiles nobles utilisées dans l'industrie céramique. En effet, les données communiquées sont le plus souvent parcellaires, ne couvrent pas les mêmes périodes et concernent des matériaux argileux utilisés dans d'autres domaines industriels. C'est notamment le cas de l'Allemagne de l'Ouest où les argiles de ce type entrent pour une part importante dans la fabrication de produits en terre cuite (tuiles, briques, tuyaux,...), et autres en tant que charges minérales. Par ailleurs, les informations sont manquantes pour plusieurs pays producteurs. C'est le cas notamment des états de l'ex-URSS, de la Hongrie, de la Yougoslavie, du Portugal, de l'Afrique du Nord, du Pérou, de l'Indonésie et de la Corée du Nord.

La production mondiale d'argiles réfractaires, en particulier celles de type "fireclays", est difficile à estimer dans la mesure où le plus souvent elle se situe dans un marché captif contrôlé par les sociétés manufacturières.

Quelques données chiffrées sur les productions annuelles nationales, en fonction des types de matériaux, sont fournies à titre indicatif dans le tableau 7.

Pays	Types d'argiles	Quantités (t)	Années
USA	b.c	985 000	1990
	h.g. + ch.	423 000	1986
	f.c	291 000	
Allemagne de l'Ouest	toutes qualités	4 130 000	1986
Tchécoslovaquie	b.c. + r.c.	2 000 000*	
France	toutes qualités	1 100 000	1991
Japon	b.c. + p.c.	900 000	
Grande Bretagne	b.c.	800 000	1990
Italie	h.g. + ch.	500 000*	
Espagne	h.g. + ch.	500 000*	
Turquie	b.c.	150 000	
Afrique du Sud	f.c.	112 300	1987
	p.c.	43 400	
Brésil	h.g. + ch.	100 000**	
Inde	b.c.	90 000	
Australie	b.c. + p.c.	80 000*	1990
Israël	p.c. + f.c.	60 000	
Thaïlande	b.c.	50 000	
Chine	b.c.	45 000**	
Chili	b.c. + p.c.	20 000	
Sri Lanka	b.c.	20 000	

Type d'argiles : b.c. = "ball clays" ;
 f.c. = "flint clays" ;
 p.c. = "plastic clays" ;
 r.c. = "refractory clays" ;
 h.g. + ch. = haut de gamme et chamottes.

* estimations ; ** capacités de production.

Sources des données : Coope, 1981 ; Dickson et Clarke, 1989 ;
 Industrial Minerals, 1992 ; Loughbrough, 1992 ;
 Russell, 1989.

Tabl. 7 - Productions annuelles nationales d'argiles nobles utilisées dans l'industrie céramique

La production mondiale est dominée par les USA (Tennessee principalement), l'Allemagne (75 % dans la région du Westerwald), la République tchèque (bassin de Cheb), la France, le Japon et la Grande Bretagne (régions du Devon et du Dorset en Angleterre), ce dernier pays restant le premier exportateur (Russel, 1992). La Chine affiche une production modérée, sûrement très en deçà de la réalité, et recèle les plus grandes réserves d'argiles de type "ball clays" et "flint clays" au monde.

L'évolution actuelle, de plus en plus évidente, de la production mondiale se traduit par le déplacement des centres de production vers le Sud. L'Europe du Nord voit sa production régresser tandis qu'elle augmente en Europe du Sud et en Afrique du Nord. Les marchés en développement se situent en Turquie, en Iran, dans les pays de la bordure pacifique, en Inde et en Chine. Les estimations indiquaient que ces marchés seraient les plus prospères dans les 20 prochaines années, et de ce fait quelques sociétés, européennes notamment, ont engagé des partenariats et autres opérations d'investissement dans ces pays. On s'attend à ce que les Philippines, la Malaisie et l'Indonésie soient les pays qui connaîtront prochainement une rapide croissance de l'industrie céramique (Loughbrough, 1992).

5.2 - PRODUCTION FRANCAISE

La production française d'argiles nobles, réfractaires et kaoliniques, a décliné assez régulièrement au cours de la période 1981-1987, puis est restée stable entre 1989 et 1991, aux alentours de 1,1 Mt (fig. 7). Cette baisse très sensible s'explique par deux raisons majeures (Syndicat National des Producteurs de Matières Premières pour la Céramique et la Verrerie, communication orale) :

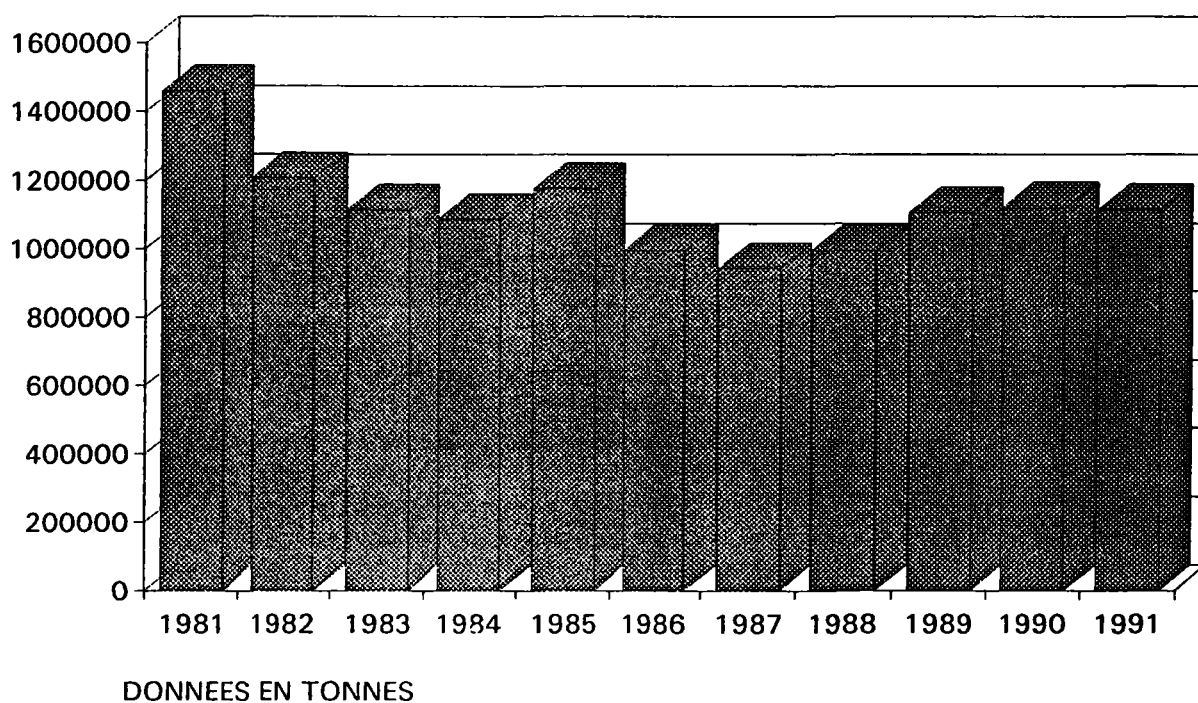
- la fermeture des exploitations souterraines du bassin de Provins, devenues non rentables d'un point de vue économique ;
- la crise des secteurs d'activité consommateurs des produits finis issus de ces substances : la sidérurgie (produits réfractaires) et le bâtiment (céramiques sanitaires et carreaux de revêtement).

A ces causes s'ajoutent des problèmes d'extraction rencontrés lors des périodes hivernales rigoureuses, ainsi que des pratiques de déstockage.

La production nationale est assurée par une trentaine de sociétés de taille très variable. Onze d'entre elles sont affiliées au Syndicat National des Producteurs de Matières Premières pour la Céramique et la Verrerie.

Généralement, l'extraction des matériaux est réalisée par des entreprises spécialisées. Seules quelques sociétés manufacturières de produits céramiques, notamment dans le secteur des produits réfractaires, se chargent de l'exploitation des argiles pour leur propre consommation.

D'après le Syndicat National des Producteurs de Matières Premières pour la Céramique et la Verrerie, la production française globale d'argiles nobles pour l'industrie céramique s'élevait, en 1991, à 1 114 721 t. Elle était ainsi répartie :



Source des données : Syndicat National des Producteurs de Matières Premières pour la Céramique et la Verrerie

Fig. 7 - Evolution de la production française d'argiles réfractaires et kaoliniques entre 1981 et 1991.

- argiles kaoliniques et réfractaires, crues et déchiquetées : 732 863 t ;
- argiles broyées et séchées : 188 739 t ;
- chamottes : 193 119 t.

La production française de chamottes, parmi les toutes premières en Europe, a récemment décliné du fait des importations de produits à bas prix en provenance de Tchécoslovaquie et de Chine.

La production nationale d'argiles nobles était assurée, en 1991, par quatre principaux bassins de production (fig. 8) : le bassin "des Charentes" (32,2 %), celui de Provins (19,0 %), celui du Centre Ouest (17,3 %) et celui du Centre Est (14,6 %).

Sa répartition, pour la même année, par secteurs de l'industrie céramique, était la suivante (fig. 9) :

- carreaux de revêtement : 50,4 % ;
- produits réfractaires : 26,3 % ;
- céramiques sanitaires : 13,9 % ;
- vaisselle et poteries : 9,4 %.

5.3 - IMPORTATIONS. EXPORTATIONS. CONSOMMATION FRANÇAISE APPARENTE

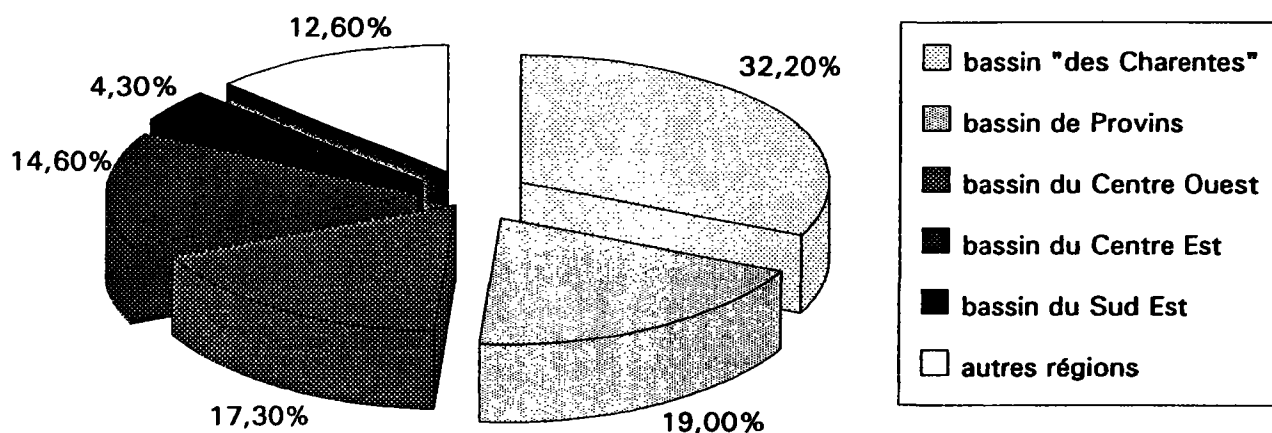
Les argiles nobles sont principalement importées d'Allemagne (85 %), de Grande Bretagne (Angleterre) et d'Espagne. Les autres pays exportateurs vers la France en 1991 étaient les suivants : Tchécoslovaquie, Yougoslavie, Russie, Pays-Bas, Turquie, Israël, USA et Chine.

Les importations françaises s'élevaient à 302 000 t en 1991 (statistiques douanières corrigées).

Les argiles nobles extraites en France ont été exportées, en 1991, principalement vers l'Italie (environ 50 %), l'Allemagne (environ 20 %), l'Espagne et la Grande Bretagne, également vers la Suisse, le Bénélux, l'Autriche, le Danemark, la Norvège, le Portugal, les états de l'ex-URSS et l'Afrique (Maroc, Tunisie, Nigéria, Côte d'Ivoire).

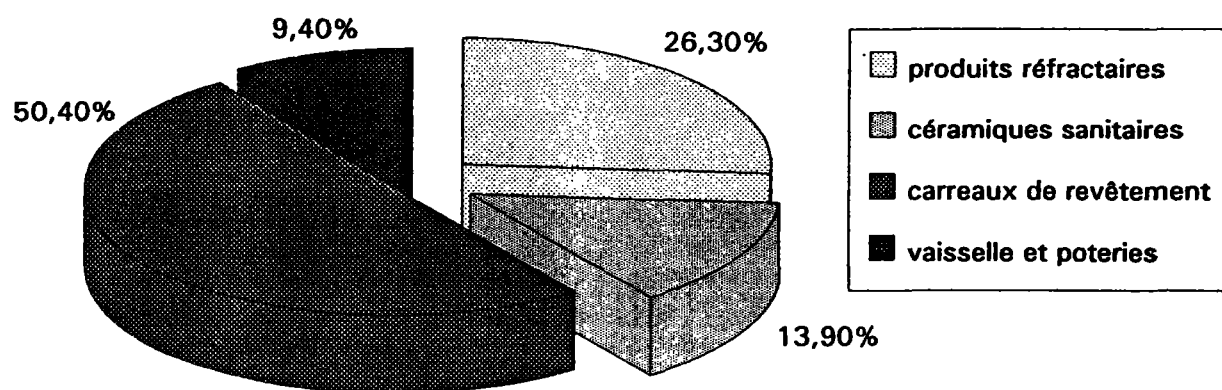
En 1991, les exportations françaises s'élevaient à environ 389 000 t, ce qui permettait à la balance commerciale de rester excédentaire en termes quantitatifs (+ 87 000 t).

La production française d'argiles nobles destinées à la consommation nationale dans l'industrie céramique s'élevait à environ 670 000 t en 1991, ce qui représentait de l'ordre de 536 000 t en terme de livraisons en France. Considérant les importations (302 000 t), on aboutit à une consommation française apparente d'environ 838 000 t.



Source des données : BRGM

Fig. 8 - Répartition de la production française d'argiles nobles pour produits céramiques par bassins de production en 1991.



Source des données : BRGM

Fig. 9 - Répartition de la production française d'argiles nobles par secteurs de l'industrie céramique en France en 1991.

Il est également possible d'estimer cette consommation par la filière avale (Société Française de Céramique, communication orale). Si l'on tient compte :

- des quantités de produits finis élaborés ;
- des formulations types généralement adoptées, au niveau des mélanges de matières premières, par types de produits céramiques ;
- des pertes de masse au cours de la fabrication (rebus, perte au feu à la cuisson) ;
on détermine une consommation française d'environ 868 000 t pour l'année 1990. Elle se répartissait ainsi par secteurs de l'industrie céramique :
 - . carreaux de revêtement : 44,2 % ;
 - . produits réfractaires : 33,9 % ;
 - . céramiques sanitaires : 11,7 % ;
 - . poteries : 9,7 % ;
 - . vaisselle : 0,5 %.

Ces deux approches aboutissent à des données tout à fait concordantes, et l'on peut retenir que la consommation française apparente d'argiles nobles dans l'industrie céramique était ces dernières années de l'ordre de 850 000 t/an, dont 550 000 t d'origine nationale et 300 000 t d'importation.

5.4 - PRIX

Les prix des argiles nobles utilisées dans l'industrie céramique varient dans d'importantes proportions compte tenu de leur qualité, de leur origine, des traitements appliqués, des quantités achetées et des secteurs d'utilisation concernés.

Les données fournies au tableau 8, pour l'année 1992, sont donc purement indicatives.

Pays	Types de produits	Prix	Commentaires
FRANCE	pour céramiques fines	150-500 F/t	prix de vente départ carrière ou sortie usine
	pour produits réfractaires	400 F/t	
	pour carreaux et réfractaires, en vrac	80-180 F/t	
	chamottes brutes	500-700 F/t	
	chamottes broyées séchées	1000-1400 F/t	
GRANDE BRETAGNE (Angleterre)	b.c., séchées, déchiquetées, en vrac	25-75 £/t	FOB
	b.c., épurées, extrudées, en vrac	50-75 £/t	FOB
	b.c., poudres, épurées, en sacs	70-110 £/t	FOB
	f.c., calcinées	58-105 £/t	CIF
ALLEMAGNE	a.g., séchées, broyées, en vrac	100-210 DM/t	
ESPAGNE	selon marché	2 000-15 000 Psta/t	ex works

b.c. : argiles de type "ball clays"

f.c. : argiles de type "flint clays"

a.g. : argiles grésantes.

Tabl. 8 - Prix de quelques argiles nobles commercialisées en Europe en 1992.

6 - PRODUITS DE SUBSTITUTION

Les argiles nobles servant à la fabrication des produits céramiques constituent des matières premières minérales de base spécifiques qui restent indispensables à ce secteur d'activité considéré globalement.

Dans certains cas, on est amené à avoir recours aux produits issus du recyclage dont l'emploi se traduit par une économie de substances argileuses. On peut distinguer trois niveaux de recyclage des matériaux céramiques (Société Française de Céramique, communication orale) :

- le recyclage des produits avant cuisson, en cours de façonnage, lors de la préparation des mélanges et de la mise en forme des produits ;
- le recyclage des produits finis, généralement cuits, par l'usine fabricante ;
- le recyclage des produits finis usagés, récupérés extérieurement à la manufacture.

Les pratiques et potentialités de recyclage varient d'un secteur céramique à l'autre et d'une unité de production à l'autre (Société Française de Céramique, communication orale).

Dans le secteur des produits réfractaires, le recyclage interne à l'usine, concernant les produits en cours de fabrication et finis, est une pratique courante. Le recyclage des produits finis de récupération reste très limité compte tenu des exigences techniques au niveau qualitatif (teneur en impuretés et éléments polluants, porosité,...).

Dans le secteur des céramiques sanitaires, les rejets de barbotine et les pièces crues défectueuses sont systématiquement remis dans le circuit de fabrication au niveau de la barbotine. On peut penser qu'à l'avenir le recyclage ou le traitement spécifique des boues de rejet sera poursuivi.

Dans le secteur des carreaux de revêtement, comme dans celui des céramiques sanitaires, le recyclage des produits crus non émaillés est facilité dans les usines pratiquant l'atomisation de la composition (cas général des fabrications par pressage) ou la préparation de la pâte (cas général des fabrications par extrusion).

Les évolutions technologiques et les effets des modes ont entraîné une baisse de la consommation d'argiles nobles dans certains secteurs particuliers de l'industrie céramique.

Dans le secteur des produits réfractaires, la production de produits argileux et silico-argileux est en diminution constante depuis plusieurs années, au profit de produits plus riches en alumine. Ces derniers font appel à des matières premières très spécifiques, à base de carbone notamment (graphite, nitrure et carbure de silicium).

Cependant, il demeure quelques applications pour lesquelles les argiles réfractaires de type "flint clays" sont préférées compte tenu du rapport prix/performances (Dickson et Clarke, 1989).

Le secteur des céramiques sanitaires subit une concurrence de plus en plus grande du fait de la production croissante de pièces en tôle émaillée, en fonte et en matériaux de synthèse.

7 - REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BERTON Y. et LE BERRE P. (1983) - Guide de prospection des matériaux de carrière. Manuels et méthodes, n°5, Editions BRGM, 160 p.
- COLSON C. (1979) - Les carrières d'argile plastique du bassin de Provins. Industrie Minérale, vol. 61, n°4, avril 1979, p. 207-229.
- COOPE B.M. (1981) - Refractory clays-high alumina growth counters overall decline. Raw materials for the refractories industry, B.M. Coope et E.M. Dickson eds., Industrial Minerals, p. 107-112.
- DEER W.A., HOWIE R.A. et ZUSSMAN J. (1969) - An introduction to the rock forming minerals. Longmans ed., p.251.
- DICKSON T. et CLARKE G. (1989) - Refractory clays. A wide range of products. Industrial clays, A special review, Industrial Minerals, juin 1989, p. 47-53.
- DUBREUILH J. (1986) - Travaux préalables à la mise en exploitation du gisement d'argile grésante d'Argelouse (Landes). Rapport BRGM 86 SGN 289 AQI, 12 p.
- GLASSON N.P. (1991) - Production, contrôles et caractéristiques de ball-clays pour sanitaire. L'industrie céramique, n°859, 4/91, p. 241-243.
- INDUSTRIE CERAMIQUE (L') (1992) - L'industrie céramique en France. N°872, 6/92, p. 389-403.
- LE BERRE P. (1988) - La bentonite. Mémento roches et minéraux industriels, rapport BRGM 88 SGN 115 GEO, 49 p. + annexe.
- LOUGHBROUGH R. (1992) - Ball and plastic clays. Quality the key to survival. Industrial Minerals, janvier 1992, p. 21-33.
- NEGRONI J.M. (1991) - Valorisation industrielle des kaolins du bassin des Charentes. Communication aux journées "Valorisation des ressources minérales 1991", Ministère de la Recherche et de la Technologie, p. 479-489.
- PASQUET J.F. (1988) - Le kaolin. Mémento roches et minéraux industriels, rapport BRGM 88 SGN 676 GEO, 33 p. + annexes.
- RUSSEL A. (1988) - Ball and plastic clays. Value added products for ceramic demands. Industrial Minerals, octobre 1988, p. 27-47.
- RUSSEL A. (1989) - Ball and plastic clays. Value added products for ceramic demands. Industrial clays, A special review, Industrial Minerals, juin 1989, p. 37-45.

RUSSEL A. (1992) - European tableware. Quality and technology dictate the pace. Industrial Minerals, septembre 1992, p. 53-71.

SPENCER C.H. (1991) - Halloysite. Mémento roches et minéraux industriels, rapport BRGM R 32254, 27 p. + annexes.

TEYTON B. et VAUCQUELIN M. (1988) - Charente clays in ceramics. A tentative answer to evolving market needs. Industrial Minerals, février 1988, p. 54-61.

THIBAUT P.M. (1991) - Argiles communes pour produits de terre cuite. Mémento roches et minéraux industriels, rapport BRGM R 33266, 211 p.