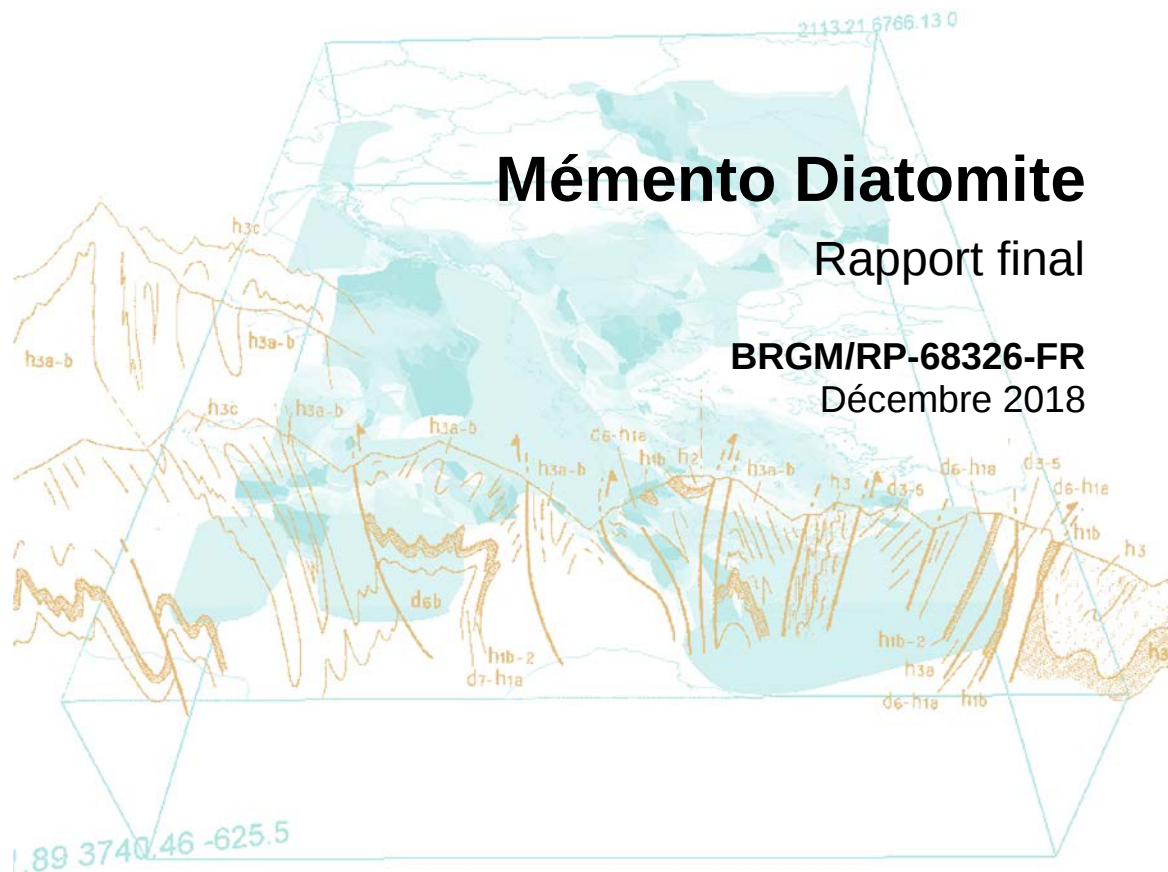


Document
public



Géosciences pour une Terre durable

brgm

**Document
public**

Mémento Diatomite

Rapport final

BRGM/RP-68326-FR

Décembre 2018

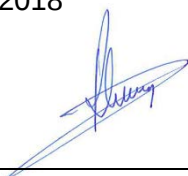
Colin S., Charles N., Lefebvre G.

Vérificateur :

Nom : Philippe Rocher

Date : 18/12/2018

Signature :



Approbateur :

Nom : Jean-Claude Guillaneau

Date : 18/12/2018

Signature :



Le système de management de la qualité et de l'environnement
est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.

Mots-clés : diatomite, réserves, ressources, gisements, production, utilisations, marchés, charge minérale, sidérurgie, chimie, approvisionnement, prospective, Cantal, Ardèche, France.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Colin S., Charles N., Lefebvre G. (2018). Mémento Diatomite. Rapport final. Rapport BRGM/RP-68326-FR, 64 p. 33 fig., 1 tab.

Synthèse

Le présent mémento est un panorama, sur le plan national, de l'activité extractive de la diatomite. Il présente un état des lieux des filières industrielles utilisant la diatomite sous toutes ses formes.

Productions, ressources et réserves

La diatomite est une roche sédimentaire siliceuse, meuble ou consolidée, de couleur claire, formée essentiellement de restes de diatomées. En raison de sa légèreté, de sa porosité et de sa neutralité chimique, elle est utilisée en particulier pour la filtration des liquides et comme charge minérale naturelle. Les gisements de diatomite mondiaux sont classés en deux catégories : gisements marins ou continentaux. En France, tous les gisements de diatomite identifiés sont de type continental lacustre en contexte volcanique et sont localisés dans le Massif Central. Deux de ces gisements sont actuellement exploités : Saint-Bauzile, en Ardèche et Virargues-Foufouilloux dans le Cantal.

Les ressources géologiques en diatomites sont relativement abondantes sur le sol français et reconnues de bonne qualité. Néanmoins, les réserves exploitables sont plus limitées, notamment du fait de contraintes environnementales. Le cas du gisement de Nouvialle (Cantal) en est l'exemple. Ce dernier a fait l'objet de plusieurs phases d'exploration et apparaît comme l'un des gisements continentaux de diatomite les plus importants d'Europe. Les ressources globales (ressources prouvées) estimées à l'époque des premiers sondages avoisinent les 10 Mt. Cependant, des contraintes environnementales fortes impliquent d'importants enjeux à lever quant à l'hypothèse d'une future exploitation du gisement. En ce qui concerne les gisements en cours d'exploitation, les réserves connues sont estimées à une vingtaine d'années d'exploitation. Sans une prospection importante de la part des exploitants pour découvrir de nouveaux gisements, il sera probablement difficile de maintenir la production française et de ce fait d'alimenter les deux usines de traitement de la diatomite.

Acteurs industriels, marchés et filières

Les 2 acteurs principaux exploitant les gisements de diatomite français sont les groupes Chemviron et Imerys. Les carrières actives qui extraient de la diatomite en France sont situées dans le Cantal et l'Ardèche. Elles sont au nombre de 4 :

- la carrière Montagne d'Andance (Chemviron)
- la carrière Foufouilloux-Pré de l'Âne (Chemviron)
- la carrière Foufouilloux-Nord (Imerys)
- la carrière Foufouilloux-Pré de Nozerolles (Imerys)

La production maximale autorisée pour ces 4 carrières est de 460 000 t. Cependant, plusieurs enquêtes auprès des différents exploitants indiquent une production réelle inférieure, de l'ordre de 300 000 t de matériaux bruts extraits, correspondant à une production nationale de produits marchands diatomitiques de 100 000 t.

A l'échelle mondiale, la production totale est de l'ordre de 3 Mt, dominée par les Etats-Unis (700 000 t en 2017).

Du côté de la demande, la répartition des marchés varie selon les zones géographiques. Au niveau mondial (en particulier aux Etats-Unis), le premier marché sont les adjuvants de filtration avec 50% de la demande. Vient ensuite la production de ciment (30%), où la diatomite est utilisée

comme additif, suivi du secteur des charges minérales et fillers (15%) utilisés dans de nombreuses applications comme la peinture, les plastiques ou les papiers. Les absorbants correspondent à 5% des usages de la diatomite, notamment pour l'élimination de microbes et contaminants dans les systèmes d'eau publics. Enfin, moins de 1% des applications sont des usages de spécialité comprenant les utilisations pharmaceutiques et biomédicales (filtration du plasma sanguin, extraction de l'ADN, etc.)

Ces spécificités de produits sont obtenues grâce aux traitements subis par la diatomite, ce qui leur confèrent une valeur ajoutée plus ou moins grande. Pour un ordre d'idée, les prix de vente des différents produits vont d'environ 10 US\$/t pour des usages d'additifs dans le ciment, à plus de 1 000 US\$/t pour les applications de spécialité telles que les cosmétiques ou encore les utilisations pharmaceutiques et biomédicales (e.g. extraction de l'ADN), requérant la quasi-absence d'impuretés.

La France affiche une balance commerciale positive de 6 M€ sur les produits diatomitiques en 2017, pour des volumes de l'ordre de 20 000 t. Les principaux partenaires commerciaux sont des pays européens, en particulier l'Espagne et l'Allemagne. La consommation apparente de la France peut ainsi être estimée à 90 000 t.

Si certains usages de la diatomite sont en décroissance, comme les charges minérales pour l'industrie du papier et des peintures, remplacés par des substituts moins coûteux (e.g carbonates de calcium), l'augmentation de la demande dans d'autres secteurs comme les adjuvants de filtration, les engrais ou l'alimentation animale devrait assurer une augmentation des besoins français et mondiaux à court et moyen termes.

Les mémentos du BRGM sont réalisés dans le cadre de la Convention 2017 n°2102186360, signée entre la Direction de l'Eau et de la Biodiversité (DGALN/DEB) du Ministère de la Transition Écologique et Solidaire (MTES) et le BRGM.

Ces documents sont diffusés sur le site Minéralinfo (<http://www.mineralinfo.fr/page/roches-mineraux-industriels-0>) et InfoTerre (www.infoterre.brgm.fr).

Sommaire

1. Introduction	9
1.1. CONTEXTE DE L'ÉTUDE.....	9
1.2. SOURCE DES DONNÉES.....	9
2. Définitions.....	11
2.1. SUBSTANCE : LA DIATOMITE	11
2.1.1. Définition d'une roche siliceuse.....	11
2.1.2. Origine de la diatomite	11
2.1.3. Propriétés physico-chimiques de la diatomite	13
2.2. RESSOURCES / RÉSERVES.....	14
2.3. PRODUITS ET FILIÈRES	15
2.3.1. Produits	15
2.3.2. Filières	16
3. Géologie de la diatomite	19
3.1. LA FORMATION DE LA DIATOMITE.....	19
3.2. TYPOLOGIE DES GISEMENTS DE DIATOMITE	22
3.2.1. Les gisements de diatomite dans le monde.....	23
3.2.3. Les gisements français de diatomite	30
3.3. PROSPECTION DE NOUVEAUX GISEMENTS	41
3.3.1. Reconnaissance préliminaire : sélection de zones cibles.....	41
3.3.2. Reconnaissance systématique : l'étude du gisement.....	43
4. L'activité extractive de la diatomite en France.....	44
4.1. LOCALISATION DES CARRIÈRES ACTIVES	44
4.2. STATISTIQUES DES PRODUCTIONS DES CARRIÈRES	45
4.3. RESSOURCES ET RÉSERVES PLAFONNÉES	45
4.4. CRITÈRES D'EXPLOITABILITÉ, MODES D'EXTRACTION ET PRINCIPES DE TRAITEMENT	47
4.4.1. Critères d'exploitabilité : généralités.....	47
4.4.2. Modes d'extraction.....	48
4.4.3. Pré-traitement.....	Erreur ! Signet non défini.
4.4.4. Les principes de traitement.....	50

5. Filières industrielles de la diatomite	52
5.1. DOMAINES D'UTILISATION DANS L'INDUSTRIE	52
5.1.1. La filtration	53
5.1.2. Charges minérales et fillers.....	55
5.1.3. Autres applications.....	56
5.2. SPECIFICATION DES PRODUITS DE VENTE	57
6. Marchés et perspectives.....	58
6.1. APERÇU DU MARCHÉ MONDIAL DE LA DIATOMITE	58
6.2. MARCHÉ INTÉRIEUR : REVUE DES PRINCIPALES SOCIÉTÉS ET LEUR POSITIONNEMENT SUR LE MARCHÉ FRANÇAIS.....	58
6.2.1. Producteurs de diatomite en France	58
6.3. COMMERCE EXTÉRIEUR DE LA FRANCE.....	60
6.4. ÉVOLUTION DES PRIX.....	60
7. Recyclage et développement durable.....	61
7.1. ENVIRONNEMENT / SANTE ET SECURITE.....	61
7.2. RECYCLAGE ET SUBSTITUTION	61
8. Conclusions et perspectives	63
9. Références.....	64

Liste des figures

Figure 1 : Les différentes familles de roches siliceuses.....	11
Figure 2 : Diatomées de Mauritanie âgées du Quaternaire vues au microscope optique. En haut : Rhopalodia gibba. En bas : Aulacoseira granulata (en colonies). Échelle de la barre noire : 5 µm. Source : BRGM.....	12
Figure 3 : La diatomite, une roche siliceuse. À gauche : échantillon de diatomite renfermant un fossile de criquet issu du gisement de Foufouilloux dans le Cantal (Source : Géoforum). À droite : diatomite observée au microscope électronique à balayage où apparaissent les fossiles de diatomées, organismes unicellulaires qui constituent la roche (Source : http://geo.cybercantal.net).	12
Figure 4 : Principales phases de traitement de la diatomite	16
Figure 5 : Principales filières d'utilisation des produits issus de la diatomite	17
Figure 6 : Production d'opale biogénique totale, de diatomées et de radiolaires au cours des temps géologiques du Cénozoïque au Quaternaire (courbe noire construite sur la valeur médiane des points tous les 1 Ma). L'enveloppe jaune est la zone de confiance à 95 % de la médiane. L'enveloppe verte représente l'interquartile à la médiane (Source : Renaudie, 2006).	20
Figure 7 : La formation des gisements de diatomite dépend de divers facteurs au sein du bassin sédimentaire (Source : d'après USGS).	20
Figure 8 : Principaux gisements de diatomite dans le monde. D'après Breese et Bodycomb (2006), Renaudie (2006) et Pellegrino et al. (2018).....	22
Figure 9 : Carrière de diatomite de Lompoc en Californie (États-Unis), le plus important gisement mondial. Source : Docs Searls	25
Figure 10 : Affleurement de la formation de Sisquoc (à More Mesa Beach, Comté de Santa Barbara, Californie, États-Unis) essentiellement composée d'argilites et de conglomérats argileux où s'intercalent des couches à diatomées (diatomite exploitée en carrière à Lompoc). Source : Antandrus	25
Figure 11 : Colonne stratigraphique du gisement de Lompoc (États-Unis). Les niveaux argileux à diatomite exploités dans la carrière appartiennent à la formation de Sisquoc âgée du Miocène supérieur (environ 6 Ma)	26
Figure 12 : Vue aérienne du Lac Mývatn en Islande. Encore aujourd'hui, les diatomées vivent en ses eaux et se déposent au fond du lac, lesquelles sont exploitées par dragage. Source : https://guidetoiceland.is	27
Figure 13 : Contexte géologique du Lac Mývatn (Islande) où est exploitée la diatomite en fond de lac (d'après Nowak, 1976).....	28
Figure 14 : Dragage de diatomite sur le Lac Myvatn (Islande). Source : Nowak, 1976.....	28
Figure 15 : Carte géologique du district à diatomite de Fernlay, Nevada, États-Unis.....	29
Figure 16 : Carrière de diatomite de la Montagne d'Andance à Saint-Bauzile (Ardèche). Le cliché montre clairement les dépôts blancs de diatomite et les orgues basaltiques de couleur noire. Source : Bernard Riou	31
Figure 17 : Cliché de détail de la diatomite de la Montagne d'Andance avec un fossile de feuille de tilleul. Source : Bernard Riou	31
Figure 18 : Carte géologique du gisement de la Montagne d'Andance à Saint-Bauzile (Ardèche). Source : BRGM.....	32
Figure 19 : Coupe géologique interprétative du gisement de diatomite de la Montagne d'Andance à Saint-Bauzile (Ardèche). Source : modifiée d'après Mein et al., 1983	32

Figure 20 : Hypothèse de mise en place du gisement de la Montagne d'Andance à Saint-Bauzile (Ardèche). Source : http://geo.cybercantal.net	33
Figure 21 : Carrière de diatomite de Foufouilloux dite « nord-est », exploitée par la société Chemviron près de Virargues (Cantal). Source : P. Rocher - BRGM	34
Figure 22 : Carte géologique du gisement de Virargues-Foufouilloux (Cantal). Source : BRGM34	
Figure 23 : Diatomite de Foufouilloux avec des restes fossiles de feuilles déposées au moment de la formation du lac. Source : Géoforum- speleunca09	36
Figure 24 : Narse de Nouvialle (Cantal), une zone tourbeuse développée dans un maar (lac de cratère) qui renferme l'un des plus importants gisements de diatomite en Europe. Source : www.infoclimat.fr	38
Figure 25 : Carte géologique du gisement de Nouvialle situé sous un recouvrement de tourbe et occupant une narse (zone humide située dans un maar, lac de cratère de type hydro-magmatique). Source : BRGM	39
Figure 26 : Extraction temporaire de diatomite dans la narse de Nouvialle pour un test de traitement par la société World Minerals en 2010. Source : World Minerals France	39
Figure 27 : Coupe géologique de principe d'un maar, un édifice volcanique issu d'une éruption phréato-magmatique. Le gisement de Nouvialle se serait formé après ce phénomène géologique violent avec la formation d'un lac dans le cratère. La narse de Nouvialle est aujourd'hui occupée par une tourbière qui masque les sédiments lacustres à niveaux de diatomite. Les retombées pyoclastiques visibles sur ce schéma général ne sont visibles qu'en de rares endroits à Nouvialle, car souvent érodées. Source : BRGM.....	39
Figure 28 : Carte des carrières de diatomite actives en France en 2018 (Source : BDCM-BRGM)	44
Figure 29 : Productions autorisées (en kilotonnes) des carrières de diatomite entre 2018 et 2040 sur la base des autorisations actuelles (Source : BDCM-BRGM)	46
Figure 30 : Opération de décapage par bulldozer et tombereau sur le gisement de Foufouilloux (Cantal). Source : Mines & Carrières.....	49
Figure 31 : Procédé de traitement de la diatomite, de la carrière au produit brut final (CECA)..	50
Figure 32 : Filières d'utilisation des produits diatomitiques. Source : World Minerals France....	53
Figure 33 : Obtention de produits crus calcinés pour usages en filtration	54

1. Introduction

La réactualisation du mémento sur la diatomite a été menée dans le cadre de la Convention 2017 n° 2102186360, signée le 20 juillet 2018 entre la Direction de l'Eau et de la Biodiversité (DGALN/DEB) du Ministère de la Transition Écologique et Solidaire et le BRGM-Service géologique national.

1.1. CONTEXTE DE L'ÉTUDE

Cette étude a été réalisée par l'unité Ressources Minérales de la Direction des Géoressources du BRGM, afin de réactualiser le précédent mémento (rapport BRGM-R38758) datant de 1995. Ce mémento permet de faire un état des carrières en activité, des utilisations et des marchés en France à fin 2017.

1.2. SOURCE DES DONNÉES

Ce rapport a été élaboré à partir de la documentation et des sources suivantes :

- documentation technique et scientifique du BRGM, dont les anciens mémentos, les rapports sur les gisements français (recherches, inventaires ou expertises), et ceux concernant les traitements des matériaux, les utilisations, les marchés ;
- les informations de la Base de Données Carrières et Matériaux du BRGM (BDCM), qui est alimentée en continu selon les nouvelles informations recueillies ;
- les statistiques douanières du commerce extérieur concernant la diatomite et certains produits industriels.

Par ailleurs, ont été intégrées les informations disponibles sur les sites Internet des nombreuses entreprises concernées (sociétés productrices, utilisatrices ou transformant la diatomite), sur les sites des syndicats professionnels, ainsi que ceux d'organismes scientifiques.

Cependant, malgré l'utilisation de l'ensemble des sources d'information disponibles, cette étude n'est pas en mesure de garantir l'exhaustivité ni l'exactitude absolue des données collectées.

2. Définitions

2.1. SUBSTANCE : LA DIATOMITE

2.1.1. Définition d'une roche siliceuse

Les roches siliceuses (Figure 1) sont des roches sédimentaires constituées principalement de silice (SiO_2). Elles peuvent avoir trois origines :

- Issues de la désagrégation mécanique de matériel antérieur :
 - o Sable d'arène issue de l'altération et de l'érosion d'un granite, grès ou conglomérat ;
 - o Grès : origine détritique.
- Issues d'une bio-précipitation. Les trois organismes bio-minéralisant de la silice sont :
 - o les radiolaires (qui forment la roche appelée radiolarite),
 - o les diatomées (qui forment la roche appelée diatomite),
 - o les spongites ou gaizes ou spongiaires (porifères).
- Issues d'une précipitation chimique (lorsque le seuil de sursaturation en silice est atteint).

Famille	Type de roche	Exemple
Roches détritiques	• Sable, arène (roche meuble) • Grès (roche massive)	Grès de Fontainebleau Grès des Vosges
Roches organogènes	• Diatomite (issue des diatomées) • Radiolarite (issue des radiolaires) • Spongite ou gaize (issue de résidus d'éponge)	Jaspe et phtanite Gaize de l'Argonne
Roches siliceuses chimiques	• Silex • Chaille • Meulière	

Figure 1 : Les différentes familles de roches siliceuses.

2.1.2. Origine de la diatomite

Utilisées depuis l'Antiquité comme adjuvant minéral dans certaines poteries ou dans la fabrication de briques légères, les terres à diatomées vont connaître un développement économique important à partir de la seconde moitié du XIX^e siècle. À cette époque, les progrès techniques d'observation microscopique vont largement contribuer à une meilleure analyse des gisements de diatomite, permettant ainsi une meilleure prospection et des découvertes plus aisées de nouveaux gisements. De nouvelles applications vont rapidement apparaître et la technique de la calcination va permettre de créer de nouveaux produits utiles à l'industrie (Négroni, 2007).

Les diatomées sont des algues brunes unicellulaires dont la membrane cellulosique a la propriété de fixer la silice dissous dans l'eau (Figure 2). Elles sont ainsi formées d'une carapace constituée d'une silice hydratée (silice amorphe opaline) nommée « *frustule* ». Chaque espèce de diatomée se distingue par la géométrie de son frustule. L'accumulation de ces carapaces, dans certains lacs ou fonds marins, forment d'importants dépôts qui, après diagenèse, forment une roche légère et très poreuse : la diatomite. Elle est aussi appelée « *terre à diatomées* », « *tripoli* » ou « *kieselguhr* » dans le reste de l'Europe. L'étymologie de diatomée vient du grec « *Dia* » qui signifie « *à travers* » et de « *Tomos* » qui signifie « *coupure* » (façon dont elles se divisent).

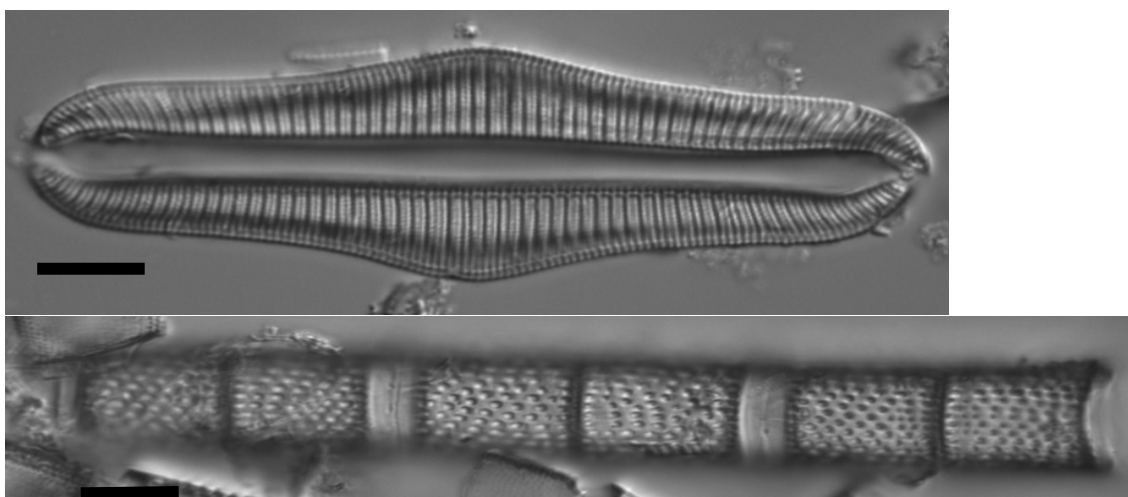


Figure 2 : Diatomées de Mauritanie âgées du Quaternaire vues au microscope optique. En haut : *Rhopalodia gibba*. En bas : *Aulacoseira granulata* (en colonies). Échelle de la barre noire : 5 μ m. Source : BRGM

La diatomite est donc une roche sédimentaire siliceuse, meuble ou consolidée, de couleur claire, formée essentiellement de restes de diatomées (Figure 3). En raison de sa légèreté, de sa porosité et de sa neutralité chimique, elle est utilisée dans de nombreuses applications telles que les procédés de filtration des liquides et comme charge minérale naturelle.



Figure 3 : La diatomite, une roche siliceuse. À gauche : échantillon de diatomite renfermant un fossile de criquet issu du gisement de Foufouilloux dans le Cantal (Source : Géoforum). À droite : diatomite observée au microscope électronique à balayage où apparaissent les fossiles de diatomées, organismes unicellulaires qui constituent la roche (Source : <http://geo.cybercantal.net>).

Les diatomées, micro-algues unicellulaires peuvent vivre en eaux douce, saumâtre ou salée. On les trouve même dans les sols à forte humidité. Les diatomées sont planctoniques (formes flottantes) ou benthiques (formes fixées sur les substrats immergés). Plus de 12 000 espèces

différentes de diatomées peuvent être dénombrées. Les conditions environnementales nécessaires à leur prolifération sont les suivantes :

- Limpidité des eaux (favorise une activité photosynthétique) ;
- Profondeur inférieure à 35 m (favorise une activité photosynthétique) ;
- Milieu de sédimentation de faible énergie avec de très faibles apports détritiques ;
- Température basse des eaux (liée à l'altitude ou à une période de refroidissement climatique) ;
- Présence de dioxyde de carbone, d'éléments nutritifs ;
- Abondance de la silice soluble indispensable à la formation des frustules, carapaces siliceuses synthétisées par les diatomées ;
- Absence de substances inhibitrices de croissance comme certains sels solubles.

Quand tous ces éléments sont réunis, les diatomées peuvent se former et proliférer. À leur mort, les frustules s'accumulent par sédimentation au fond des lacs ou des océans, formant ainsi des dépôts dont l'épaisseur varie de quelques millimètres à 2,5 cm par an (Négroni, 2007).

Les squelettes de diatomées, appelés frustules, sont finement ornés (pores et excroissances), d'où une structure complexe. Leur taille varie de 0,75 à 1 000 μm (10 à 150 μm dans la majorité des cas) (Rocher, 1995).

Une fois déposées, les diatomées doivent être protégées ou épargnées de tous événements géologiques postérieurs susceptibles de les détruire.

2.1.3. Propriétés physico-chimiques de la diatomite

L'intérêt de la diatomite pour différentes applications est lié à deux caractéristiques intrinsèques : sa **composition chimique** et sa **structure physique**, dont découlent d'autres propriétés (inertie chimique, réfractairité, porosité, densité, capacité d'absorption, surface spécifique, etc.). Ces différentes propriétés peuvent être ajustées en fonction des différentes phases de traitement industriel.

Les diatomites présentent à l'état brut des teneurs en silice comprise entre 85 et 94 %. Les autres éléments significatifs, Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO et MgO traduisent la présence d'impuretés telles que les argiles, les carbonates et la matière organique.

La diatomite est une roche siliceuse très légère (densité de 0,2 à 0,3, soit 200 à 300 kg/m^3), très poreuse, contenant de 50 à 70 % d'eau, friable et dont la couleur claire à l'affleurement varie du gris clair au bleu-vert, voire au blanc, en fonction des altérations, des impuretés qui y sont contenues (matière organique, argiles, etc.) et du degré d'humidité. Du point de vue minéralogique, elle est rattachée à la famille des opales. La diatomite est donc constituée de silice hydratée ou de type opale de formule chimique $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Cette roche tendre et très faiblement consolidée, se débite facilement en lits millimétriques.

La diatomite étant essentiellement constituée de silice (amorphe et hydratée dans les produits naturels), elle possède une bonne inertie chimique. Après traitement, elle est insoluble dans les solutions acides (sauf l'acide fluorhydrique) ou légèrement alcalines. Cependant, en milieu très alcalin, la diatomite a un effet pouzzolanique, autrement dit elle a la capacité, à température ambiante et en présence d'eau, de fixer la chaux pour donner des composés stables possédant les propriétés hydrauliques du ciment. Elle est modérément réfractaire (point de ramollissement situé entre 1 400 et 1 600 $^{\circ}\text{C}$).

La diatomite présente une structure physique complexe, finement divisée du fait des juxtapositions des frustules de diatomées qui sont de très petites dimensions (10 à 150 µm le plus souvent) et de formes variées et irrégulières. En fonction des espèces, les formes et les structures sont différentes et ont une incidence sur les propriétés physico-chimiques ; par exemple, les formes en aiguilles permettent une filtration plus lente et plus efficace en terme de pouvoir clarifiant.

La structure générale de la diatomite lui confère les propriétés suivantes :

- **Densité apparente faible** comprise entre 0,08 et 0,5 à l'état sec (0,13 pour les poudres non tamisées et 0,45 pour les blocs) et 1,3 pour les matériaux bruts de carrière contenant 60 % d'eau, la densité réelle étant sensiblement identique à celle de l'opale (2,1) ;
- **Porosité élevée** (volume des pores – espace interstitiels des frustules = 85-95 %), le contact entre les éléments constitutifs (frustules) se faisant principalement en des points isolés de leur surface, d'où les propriétés isolantes (faible conductivité thermique : 0,07 à 0,2 kcal/m-h-°C) ;
- **Grande surface spécifique** pouvant varier de 3 à 38 m²/g selon le type de produits ;
- **Forte capacité d'absorption des liquides** : jusqu'à 3 à 4,5 fois son propre poids (par exemple : 100 à 300 cm³ d'huile/100 mg) ;
- **Dureté** (échelle de Mohs) : 4,5 à 6,0 en particules et 1,5 en masse, d'où son pouvoir faiblement abrasif.

2.2. RESSOURCES / RÉSERVES.

D'après les standards internationaux de classification (CRIRSCO et ses déclinaisons nationales telles que le JORC (Australie) ou le NI 43-101 (Canada)), les réserves sont la partie économiquement exploitable des ressources. Ces informations varient dans le temps en fonction des travaux d'exploration minérale permettant l'identification des volumes de la substance recherchée, ainsi que des paramètres économiques d'un projet d'exploitation (cours de la substance minérale, coûts d'exploitation, coûts des procédés de traitement, coût des transports, etc.).

Ressources géologiques en roches et matériaux : gisement dont l'extension et le volume sont connus dans leur ensemble, et ont pu faire l'objet d'une première estimation, avec prospection en surface, reconnaissance par sondages, petits travaux d'extraction, etc.

Réserves de roches et matériaux : Les réserves d'une exploitation représentent la part exploitable des ressources concernées. En effet, l'ensemble des ressources n'est pas exploitable à 100%. Les réserves correspondent aux parties des ressources, techniquement et économiquement exploitables, donc pour lesquelles la vente du produit final récupéré excède les frais d'exploitation. Les réserves prennent en compte le type de traitement minéral, le taux de récupération de la substance, le taux de stérile. En fonction des degrés de connaissances des réserves, on parle de réserves probables puis prouvés (ordre croissant de connaissances)

En France, tous les gisements de diatomite identifiés sont localisés dans le Massif Central. Il s'agit :

- du gisement de la Montagne d'Andance (Saint-Bauzile) en Ardèche, qui approvisionne l'usine Chemviron implantée à Saint-Bauzile ;
- du gisement de Virargues/Foufouilloux, dans le Cantal, qui alimente à la fois l'usine de la société Chemviron à Riom-ès-Montagnes et celle de la société Imerys basée à Murat.

L'évaluation des réserves de ces gisements est effectuée par les principaux exploitants en interne, sans mise à disposition publique des données. De plus, l'évaluation des réserves de ce type de gisements demande des études relativement poussées du fait de leurs structures particulières, liées à d'anciens lacs de cratères (maars). Actuellement, les principaux gisements français, sans études supplémentaires réalisées à ce sujet à ce jour peuvent produire de la diatomite pour une vingtaine d'année. Cependant, deux autorisations en cours sur le gisement de Virargues/Foufouilloux s'arrêtent dans les prochaines années (2020 et 2023) ce qui met en péril l'alimentation de l'usine de calcination de Murat. Sans gisement à proximité de cette usine, la pérennité de cette usine est menacée.

2.3. PRODUITS ET FILIÈRES

2.3.1. Produits

Les diatomites issues de dépôts dans les maars (lac de cratère, cf. chapitre 3.2.3) sont généralement proches de la surface. Ces gisements sont donc la plupart du temps exploités à ciel ouvert, par pelles hydrauliques, camions (type tombereaux) ou convoyeurs à bande. L'utilisation de la pelle hydraulique permet une exploitation aisée qui permet de trier les différentes qualités de diatomite. Après l'extraction, les matériaux diatomiques subissent plusieurs transformations (sélection, broyage et calcination) aboutissant à des produits commercialisables (Figure 4).

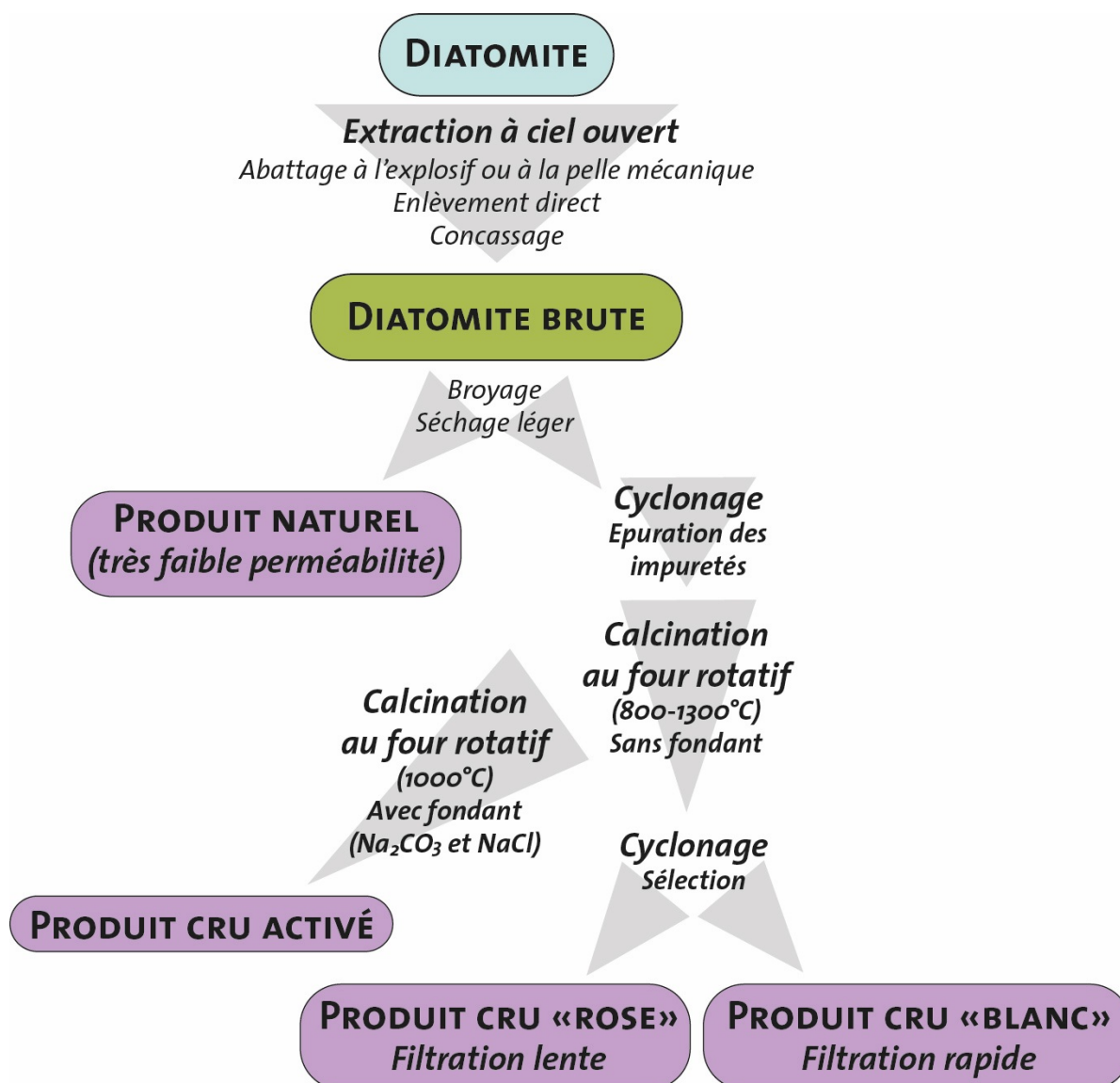


Figure 4 : Principales phases de traitement de la diatomite

2.3.2. Filières

Du point de vue économique, le concept de filière fait référence à une succession d'opérations participant, d'amont en aval, à l'élaboration d'un produit fini ou d'un service. Chaque filière constitue une chaîne d'activités qui se complètent, liées entre elles par des opérations d'achats et de ventes et représentées par un certain nombre d'acteurs, depuis l'extraction de matières premières et leur transformation, en amont, jusqu'à la distribution et aux services liés au produit, en aval.

La Figure 5 synthétise les différentes filières d'usages possibles des produits diatomitiques en fonction de leur traitement. Les propriétés naturelles de la diatomite telles que la porosité, la faible densité et la forte inertie chimique combinées font des produits diatomitiques d'excellents supports de filtration pour toutes sortes de liquides des industries agro-alimentaires, chimiques et pharmaceutiques, usages représentant entre 50 et 75 % de la consommation mondiale.

Principales filières industrielles d'utilisation des produits diatomitiques		
<u>Les agents filtrants</u>	<u>Les charges minérales et fillers</u>	<u>Autres secteurs</u>
(environ 75 % de la consommation) avec des utilisations dans plusieurs domaines • <u>l'industrie alimentaire</u> : - brasserie (bière et moûts) - œnologie (vins, cidre) - glucoserie (à base de maïs, de riz...) - sucrerie (sucre de canne et de betteraves) - huilerie (huiles de tournesol, colza, arachide...) • <u>La chimie et la pharmacie</u> • <u>La mécanique et la métallurgie</u> : - eaux résiduaires et piscines • <u>Le traitement des eaux</u> : - eaux résiduaires et piscines	• Agent matant et satinant dans les peintures • Anti-bloquant dans les films PE • Charges dans les plaques filtrantes • Antimottant dans les aliments pour bétail • Charges en papeterie • Supports de catalyseurs • Empreintes dentaires	• Les produits réfractaires (briques isolantes) • Les absorbants

Figure 5 : Principales filières d'utilisation des produits issus de la diatomite

3. Géologie de la diatomite

3.1. LA FORMATION DE LA DIATOMITE

La diatomite est formée de débris de micro-organismes unicellulaires de nature siliceuse, les diatomées. Les diatomées apparaissent sur Terre à partir du Jurassique pour devenir beaucoup plus abondantes à partir du Crétacé supérieur, mais leur développement le plus important prend place au Cénozoïque et au Quaternaire (Figure 6, Renaudie, 2006). À l'échelle mondiale, la diatomite s'est formée en domaine sédimentaire marin et lacustre puisque l'environnement de vie de ces micro-organismes est conditionné par plusieurs facteurs (Kadey, 1975 ; Jeambrun, 1977 ; Breese, 1994) :

- Bassin sédimentaire étendu et peu profond (< 40 m), avec une pénétration suffisante de la lumière dans l'eau pour favoriser la photosynthèse ;
- Milieu de sédimentation calme, sans apport détritique important et une température basse (périodes glaciaires, altitude élevée, etc.) ;
- La présence de silice dissoute en quantité abondante (pour permettre aux diatomées de construire leur carapace siliceuse : le frustule), de même qu'une quantité importante de substances nutritives (phosphates et nitrates principalement, bore, cuivre, cobalt et fer également) ;
- L'absence de substances toxiques comme les sels dissous qui peuvent limiter ou empêcher la croissance des micro-organismes.

Les eaux douces, saumâtres et salées sont des milieux privilégiés pour les diatomées ; peu d'espèces peuvent vivre dans des environnements qui réunissent toutes les conditions à la fois. Les diatomées sont constituées d'une cellule protégée par une carapace siliceuse (exosquelette), le frustule. Après sa mort, seul le frustule du micro-organisme subsiste et va se déposer au fond du bassin sédimentaire. C'est l'accumulation de ces particules microscopiques qui à terme permettra la formation d'une roche siliceuse particulière : la diatomite (Figure 7). L'ordre de grandeur du rythme de la sédimentation des frustules varie de plusieurs millimètres par an à près de 2,5 cm par an selon la quantité de silice dissoute.

Ainsi, les **contextes géologiques favorables** pour les conditions exposées ci-dessus sont :

- Des bassins et des zones subsidentes à l'écart de grands apports continentaux (apports détritiques) ;
- Des réservoirs d'eau en relation avec un environnement glaciaire : lacs de barrage (vallées obstruées par des moraines ou des vallées surcreusées et liées à la présence de verrous glaciaires) ;
- Des réservoirs d'eau créés en contexte volcanique où la dynamique éruptive peut amener à la formation de dépressions topographiques : caldeira, maar, cratère, lac de barrage dans une vallée obstruée par une coulée de lave.

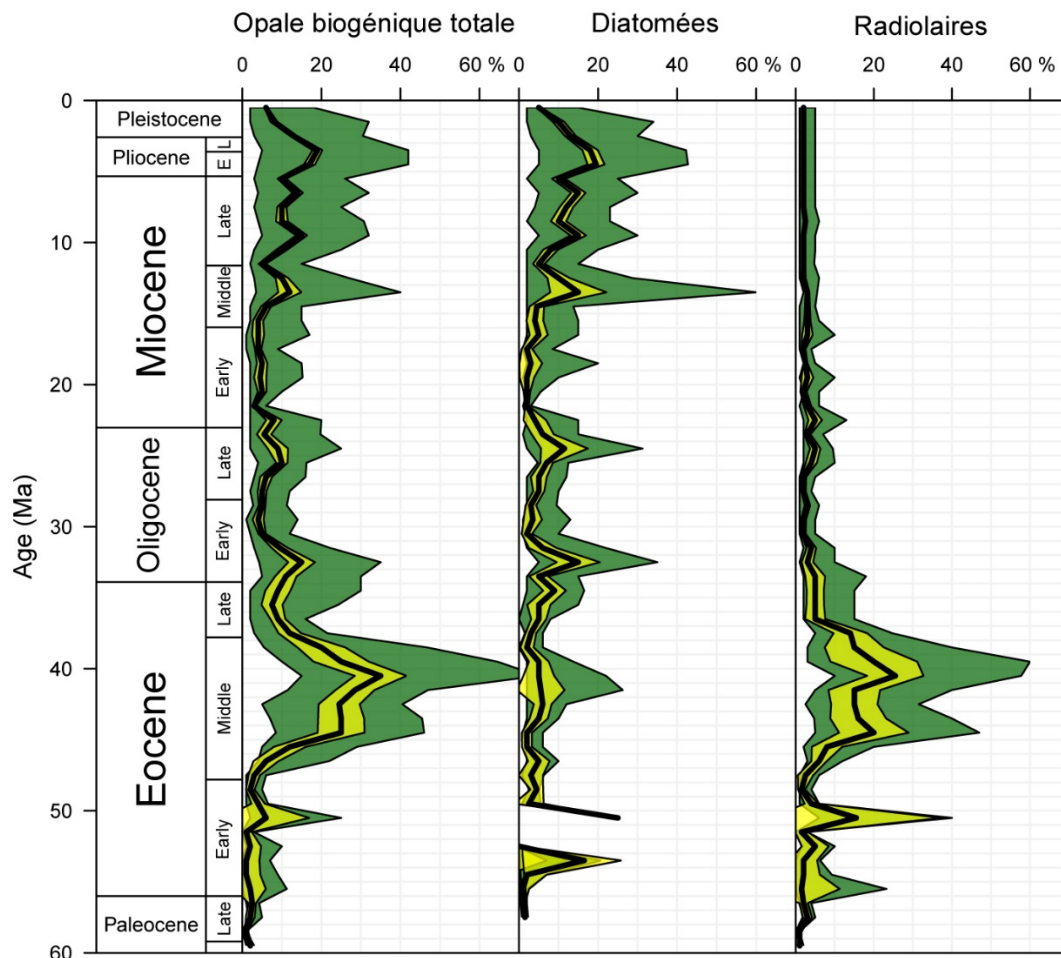


Figure 6 : Production d'opale biogénique totale, de diatomées et de radiolaires au cours des temps géologiques du Cénozoïque au Quaternaire (courbe noire construite sur la valeur médiane des points tous les 1 Ma). L'enveloppe jaune est la zone de confiance à 95 % de la médiane. L'enveloppe verte représente l'interquartile à la médiane (Source : Renaudie, 2006).

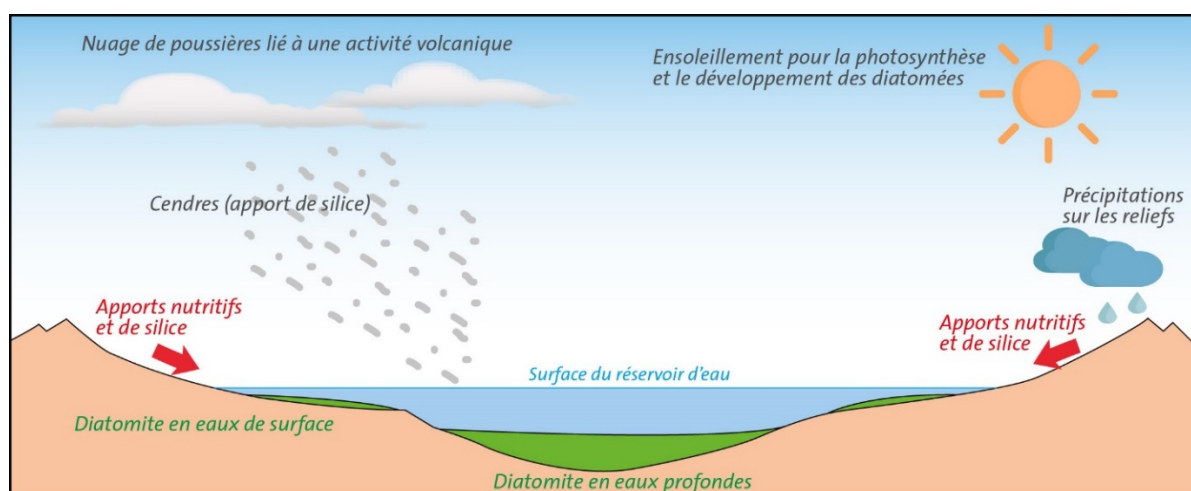


Figure 7 : La formation des gisements de diatomite dépend de divers facteurs au sein du bassin sédimentaire (Source : d'après USGS).

Au-delà des conditions idéales nécessaires au développement des diatomées, d'autres facteurs pour la formation d'un gisement de diatomite sont aussi primordiales : (1) le **degré de pureté** du gisement qui dépendra notamment des conditions de formation du réservoir d'eau dans lequel se développe les diatomées, (2) le **volume du gisement** qui sera fonction de la taille du bassin et (3) la **préservation** du gisement qui dépendra des processus de diagenèse et de sédimentation.

Autrement dit, un **degré maximal de pureté** d'un gisement dépendra de l'absence de contaminations et de pollutions de diverses natures et origines, comme indiquées ci-après :

- **Chimiques** : sous un climat chaud et dans un bassin aux eaux agitées, la présence de calcium et de magnésium (issus de formations géologiques encaissantes : calcaires, dolomies, marnes, marbres, etc.) sous forme colloïdale dans l'eau peut provoquer la précipitation de carbonates. La recherche de gisements dans d'anciennes zones de sédimentation aux eaux calmes et froides doit être privilégiée ;
- **Détritiques** : les apports terrigènes issus de l'érosion du continent peuvent contribuer à polluer un gisement de diatomite. En termes d'exploration, il conviendra de prospector les zones à l'abri des apports terrigènes, les bassins d'eau de grandes dimensions, les bassins versants à la topographie peu accidentée et les niveaux géologiques formés à des périodes où le climat était froid (faible végétation, toundra, altération pédologique limitée).
- **Aériennes** : en contexte volcanique, la prospection de gisement devra se concentrer sur les zones situées hors de portée de retombées de produits volcaniques (cendres, ponces, bombes, etc.), ou les zones formées durant un calme éruptif.

Le **volume du gisement** sera conditionné par :

- Les **dimensions** et la **forme** du bassin sédimentaire (le gisement sera d'autant plus important que la profondeur et la superficie du bassin le seront) ;
- Les **conditions environnementales** et de **sédimentation**, devant rester **stables** durant plusieurs milliers à plusieurs dizaines de milliers d'années ;

Les conditions propices à la **préservation** d'un gisement de diatomite (roche tendre) sont :

- Une zone **protégée de l'érosion**. Cette condition est remplie avec la présence d'une formation géologique sus-jacente plus résistante et/ou épaisse (ex. coulée de lave, moraine). Le contexte géomorphologique (ex. plateau) et hydrogéologique (zone éloignée d'un réseau de drainage important) est aussi capital pour la préservation d'un gisement ;
- Une zone **épargnée par des processus géologiques** pouvant amener à la modification des caractéristiques du gisement (ex. diagenèse, remaniement, altération chimique, métamorphisme).

Ainsi, malgré le fait que les diatomées puissent vivre et évoluer dans de nombreux milieux naturels, les conditions géologiques et environnementales permettant la formation et la préservation d'un gisement de diatomite de qualité sont rarement réunies à l'échelle du globe. En effet, on estime que seulement quelques dizaines de gisements de diatomite de haute qualité existent.

3.2. TYPOLOGIE DES GISEMENTS DE DIATOMITE

Les gisements de diatomite sont principalement classés en deux catégories :

- **Gisements marins** liés à des zones côtières en relation avec des mécanismes de remontées de courants froids et de nutriments (« upwelling ») ;
- **Gisements continentaux** associés à des dépressions topographiques essentiellement lacustres plus ou moins étendues et souvent en contexte volcanique (maar, cratère, lac de barrage associé à une coulée de lave).

Les **gisements marins** de diatomite sont associés à des bassins épicontinentaux (de faible profondeur) ou au grand large avec les boues à diatomées rencontrées dans les eaux froides des principaux océans du globe, notamment la ceinture péri-Antarctique et la bordure du Pacifique nord (Figure 8). Les diatomées sont aussi présentes dans les zones de courants froids (Labrador) et dans les zones où ces courants remontent en surface chargés en nutriments (« upwelling », en Californie par exemple). Des concentrations d'un million de diatomées par millilitre d'eau ont ainsi été estimées dans une zone d'upwelling (Breese, 1994). En outre, l'activité volcanique en domaine marin joue un rôle primordial dans le chimisme des eaux où se développent les diatomées. Les gisements marins peuvent atteindre plusieurs centaines de mètres d'épaisseur (300 m pour le gisement de Lompoc aux États-Unis par exemple).

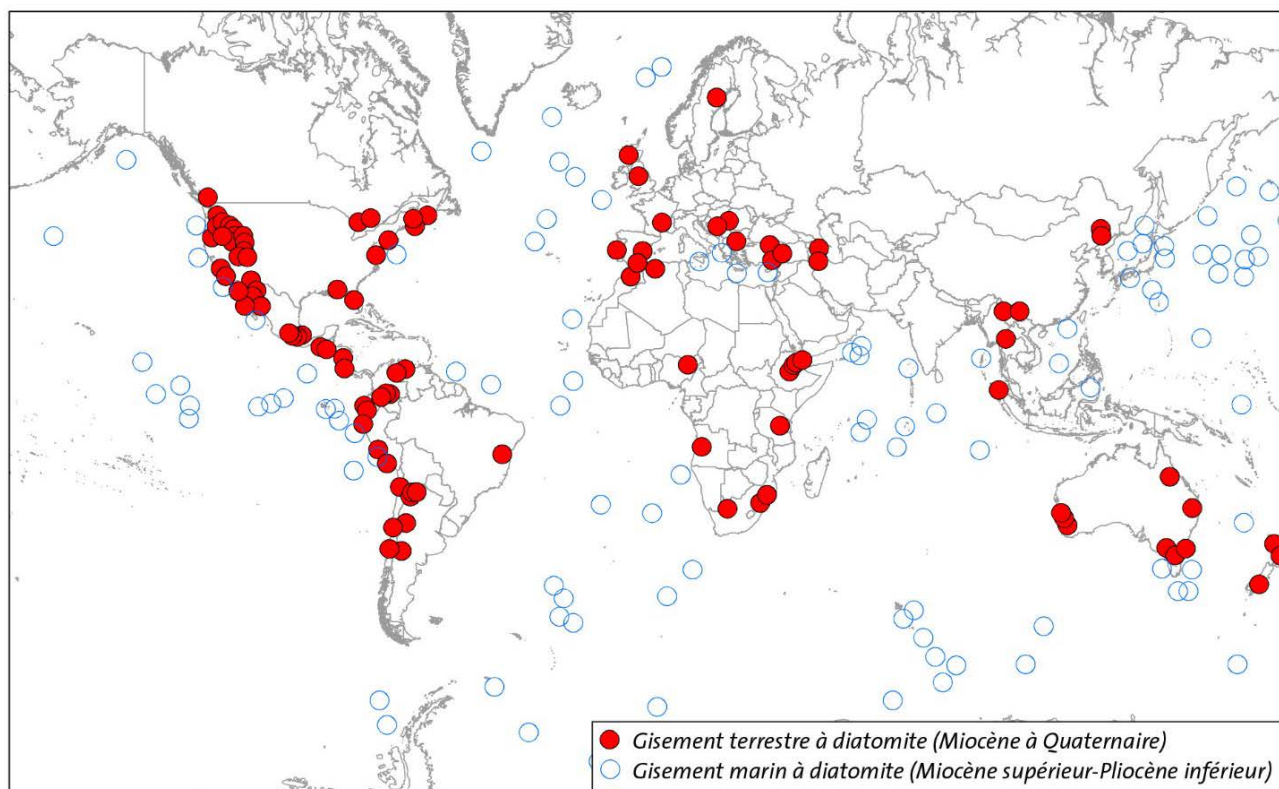


Figure 8 : Principaux gisements de diatomite dans le monde. D'après Breese et Bodycomb (2006), Renaudie (2006) et Pellegrino et al. (2018)

Les **gisements continentaux** de diatomite présentent une plus grande diversité que les gisements marins. Cela passe déjà par une grande variabilité des conditions physico-chimiques du réservoir d'eau où vont se développer les diatomées : pH, salinité, température, abondance

de nutriments. En outre, les gisements continentaux sont de taille plus modérée avec des épaisseurs pouvant aller de quelques mètres jusqu'à quelques dizaines de mètres.

Les contextes géologiques des gisements continentaux sont aussi plus variés : bassin sédimentaire subsident associé à une chaîne de montagnes, lac de barrage lié à une coulée volcanique, cratère d'origine hydro-magmatique (maar), cratère volcanique de type caldeira, zone de marais ou d'étangs peu profonds d'âge holocène à récent, environnement glaciaire non lié à du volcanisme (silice issue de farine glaciaire et de diatomite, gisements moins purs que ceux des contextes volcaniques).

Néanmoins, les gisements continentaux de haute qualité et économiques restent principalement associés à un contexte volcanique (dépressions topographiques facilement générées, silice et nombreux sels minéraux dissous abondants, eaux calmes et bassins versants réduits limitant les apports détritiques).

3.2.1. Les gisements de diatomite dans le monde

Comme précisé dans le paragraphe ci-dessus, les grands gisements de diatomite dans le monde (Figure 8) sont :

- **D'origine marine :**
 - o États-Unis : Lompoc, Santa Barbara, Kern Counties ;
 - o Mexique : le long de la côte de Baja ;
 - o Pérou : Pisco, Piurá, Chiclayo, Arequipa ;
 - o Chili : La Serena ;
 - o Japon : Honshu, Hokkaido, Kyushu ;
 - o Danemark : îles de Fur et Mors ;
 - o Algérie : Sig, Mostaganem ;
 - o Espagne : Almeria ;
 - o Pologne : sud-est du pays ;
 - o Corée du Sud : Pohang ;
 - o Nouvelle-Zélande ;
 - o Indonésie : île de Java.
- **D'origine continentale :**
 - o États-Unis : états du Nevada (Clark Station, Lovelock, Basalt, Fernley, Brady, formations tertiaires de Truckee, Desert Peak, Carlin, Esmeralda et Panaca), de l'Oregon (formations de Juntura, Drewsey et Trout Creek Mountains), de Washington (Quincy, Squaw Creek, Kittitas), de l'Idaho, de l'Utah, de l'Arizona, du Kansas occidental ;
 - o Canada : provinces de la Colombie-Britannique (Quesnel, Kamloops), de la Nouvelle-Écosse (épuisés) et du Nouveau-Brunswick ;
 - o Mexique : Guadalajara, Michoacan, Tlaxcala ;
 - o France : Saint-Bauzile, Nouvialle, Foufouilloux-Virargues ;
 - o Allemagne : Lupeberzer-Heide, Tagebau, Unterlûß ;
 - o Italie : Arcidosso, Santa Fiora, Castel del Piano, Viterbo, Tombolia, Castiglione in Teverina ;
 - o Espagne : Hellin-Elche de la Sierra ;
 - o Portugal : Couto Mineiro de Jardim, Rio Maior ;
 - o République Tchèque ;
 - o Islande : Lac Mývatn ;
 - o Écosse : île de Skye ;

- o Macédoine : Prilep ;
- o Turquie : Anatolie centrale ;
- o Roumanie : Adamclisi, Patirlapele-Buzau, Minis Arad ;
- o Hongrie : Erdobenyé ;
- o Bulgarie : Gurmen, Blagoevgrad ;
- o Afrique du Sud : Ermelco (province du Transvaal), Preiska (province du Cap) ;
- o Kenya : Gilgil ;
- o Maroc : Awinat ;
- o Brésil : états de Ceará et Bahiá ;
- o Argentine : provinces de Neuquen, La Rioja, Rio Negro ;
- o Equateur : sud de Quito ;
- o Venezuela : Lac Brava ;
- o Chili : Arica, Chiloe, Tarapaca ;
- o Chine : provinces de Jilin, de Mongolie Intérieure, de Hebei, du Zhejiang, du Sichuan, du Yunnan, de Heilongjiang ;
- o Australie : états de Nouvelle-Galles du Sud, de Victoria, du Queensland, d'Australie Occidentale ;
- o Philippines ;
- o Viêtnam ;
- o Thaïlande.

Quelques gisements de diatomite dans le monde sont décrits ci-dessous.

- ***Gisement marin de Lompoc (Californie, États-Unis)***

Le gisement de Lompoc (Figure 9) se situe dans l'état de Californie, aux États-Unis, à environ 70 km au nord-ouest de Santa Barbara et à environ 20 km de la côte actuelle de l'océan Pacifique. Ce gisement de diatomite est considéré comme le plus important du monde exploité à l'heure actuelle.

Les couches sédimentaires exploitées pour la diatomite appartiennent à la formation géologique dite de Sisquoc, âgée du Miocène supérieur au Pliocène inférieur (environ 6 à 4 Ma, Figure 10 et Figure 11). Cette formation s'insère dans une série sédimentaire marine qui s'étend du Miocène inférieur au Pliocène et repose sur des formations volcaniques et sédimentaires. La couche la plus exploitée dans la formation de Sisquoc est composée d'argilites à diatomées sur une épaisseur d'environ 300 m, et constitue la base de la formation de Sisquoc. La région est légèrement déformée en synclinaux et anticlinaux ouverts et orientés N-S. La carrière de Lompoc exploite plus d'une vingtaine de niveaux séparés par des interlits plus argileux au sein d'une structure synclinale. La carrière est exploitée par la société Celite Corporation, aujourd'hui filiale d'Imerys Filtration (<https://imerys-filtration.com>).



Figure 9 : Carrière de diatomite de Lompoc en Californie (États-Unis), le plus important gisement mondial. Source : Docs Searls



Figure 10 : Affleurement de la formation de Sisquoc (à More Mesa Beach, Comté de Santa Barbara, Californie, États-Unis) essentiellement composée d'argilites et de conglomérats

argileux où s'intercalent des couches à diatomées (diatomite exploitée en carrière à Lompoc).

Source : Antandrus

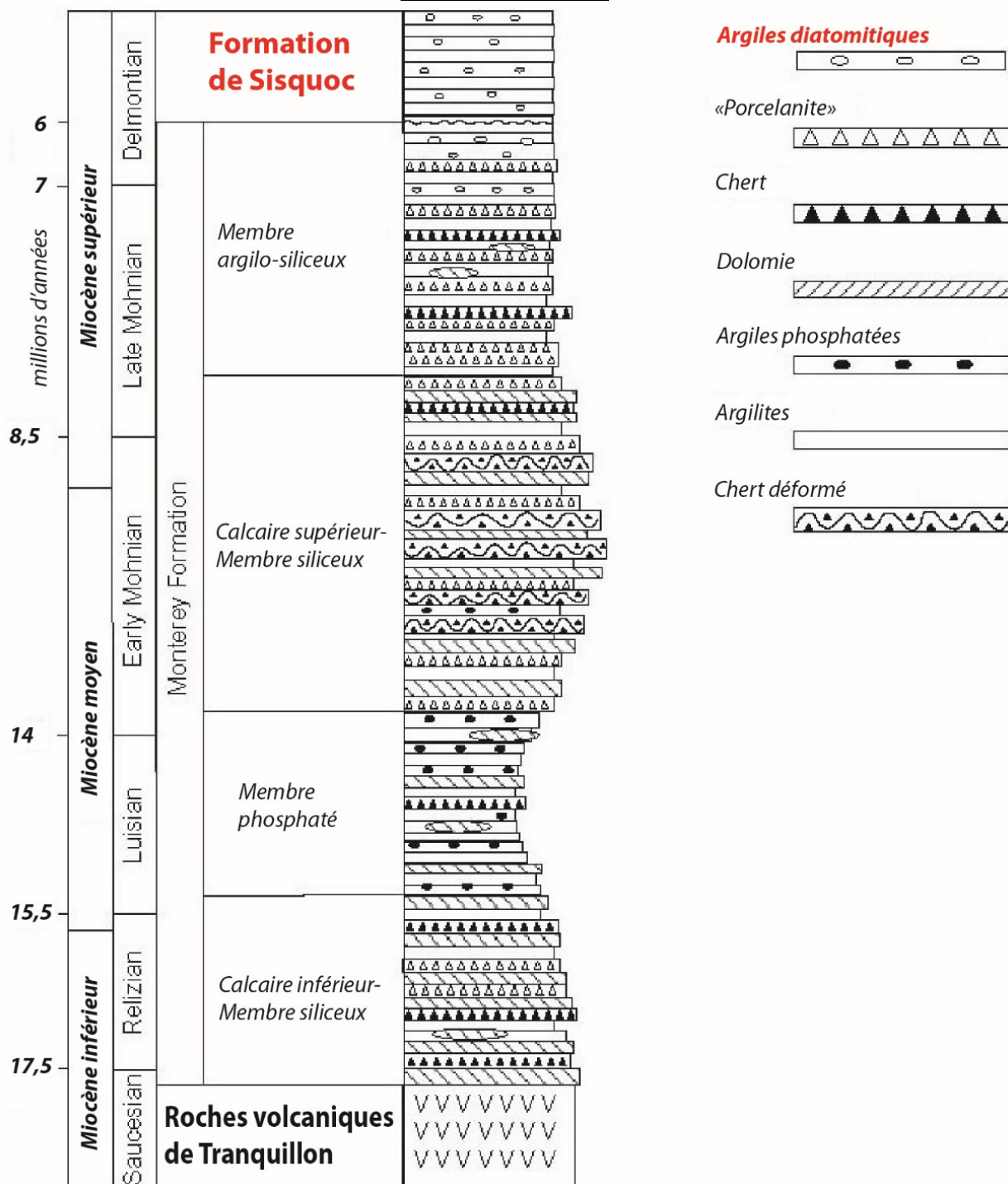


Figure 11 : Colonne stratigraphique du gisement de Lompoc (États-Unis). Les niveaux argileux à diatomite exploités dans la carrière appartiennent à la formation de Sisquoc âgée du Miocène supérieur (environ 6 Ma)

- **Gisement continental du Lac Mývatn (Islande)**

Au nord-est de l'Islande, le Lac Mývatn (40 km²) se situe à environ 40 km au sud de la ville de Husavík. Le gisement du Lac Mývatn est caractéristique d'un gisement continental en contexte volcanique (Figure 12 et Figure 13). Le lac, peu profond, se situe dans une zone volcanique active. La région est caractérisée par un paysage lunaire composé de cônes de cendres, de volcans de boue, de coulées de lave basaltique et de tourbières. Le lac se serait formé suite à l'épanchement d'une coulée de lave, il y a environ 5 800 ans, qui barra l'écoulement de la rivière Laxa.

Le développement de diatomées (*Synedra ulna*, *Fragilaria* (principalement *capucina* et *construens*), *Diatoma species*, *Melosira species* et *Tabellaria* (*genestrata* et *flocculosa*)) est favorisé par le chimisme des eaux dû à une activité volcanique soutenue et à des apports détritiques limités. Le dépôt de diatomées se poursuit donc à l'heure actuelle, à hauteur de quelques millimètres par an.

L'exploitation de la diatomite a commencé en 1965 et s'effectue par le dragage du fond du lac grâce à une barge (Figure 14).



Figure 12 : Vue aérienne du Lac Mývatn en Islande. Encore aujourd'hui, les diatomées vivent en ses eaux et se déposent au fond du lac, lesquelles sont exploitées par dragage. Source : <https://quidetoiceland.is>

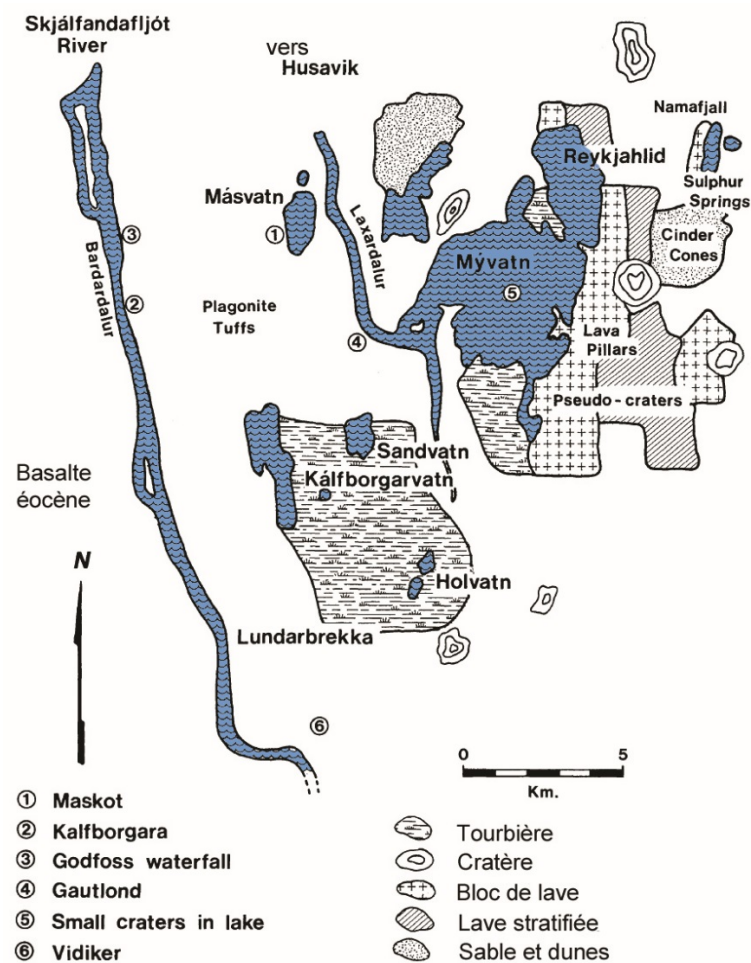


Figure 13 : Contexte géologique du Lac Mývatn (Islande) où est exploitée la diatomite en fond de lac (d'après Nowak, 1976)

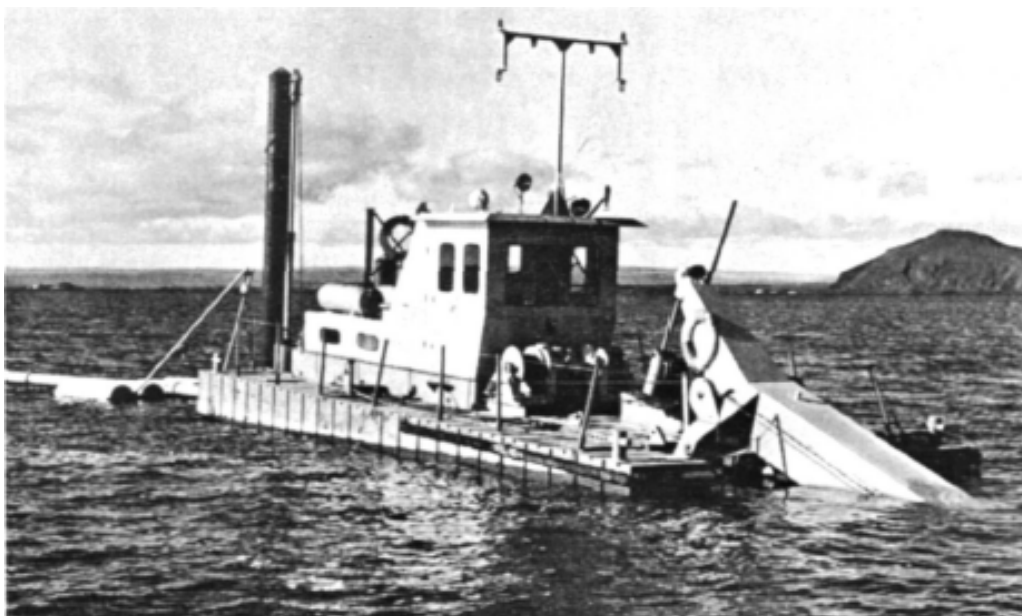


Figure 14 : Dragage de diatomite sur le Lac Myvatn (Islande). Source : Nowak, 1976

- **Gisement continental de Fernlay au Nevada (États-Unis)**

Le district de Fernlay au Nevada (États-Unis) recèle d'importants gisements de diatomite de type continental lacustre (Figure 15).

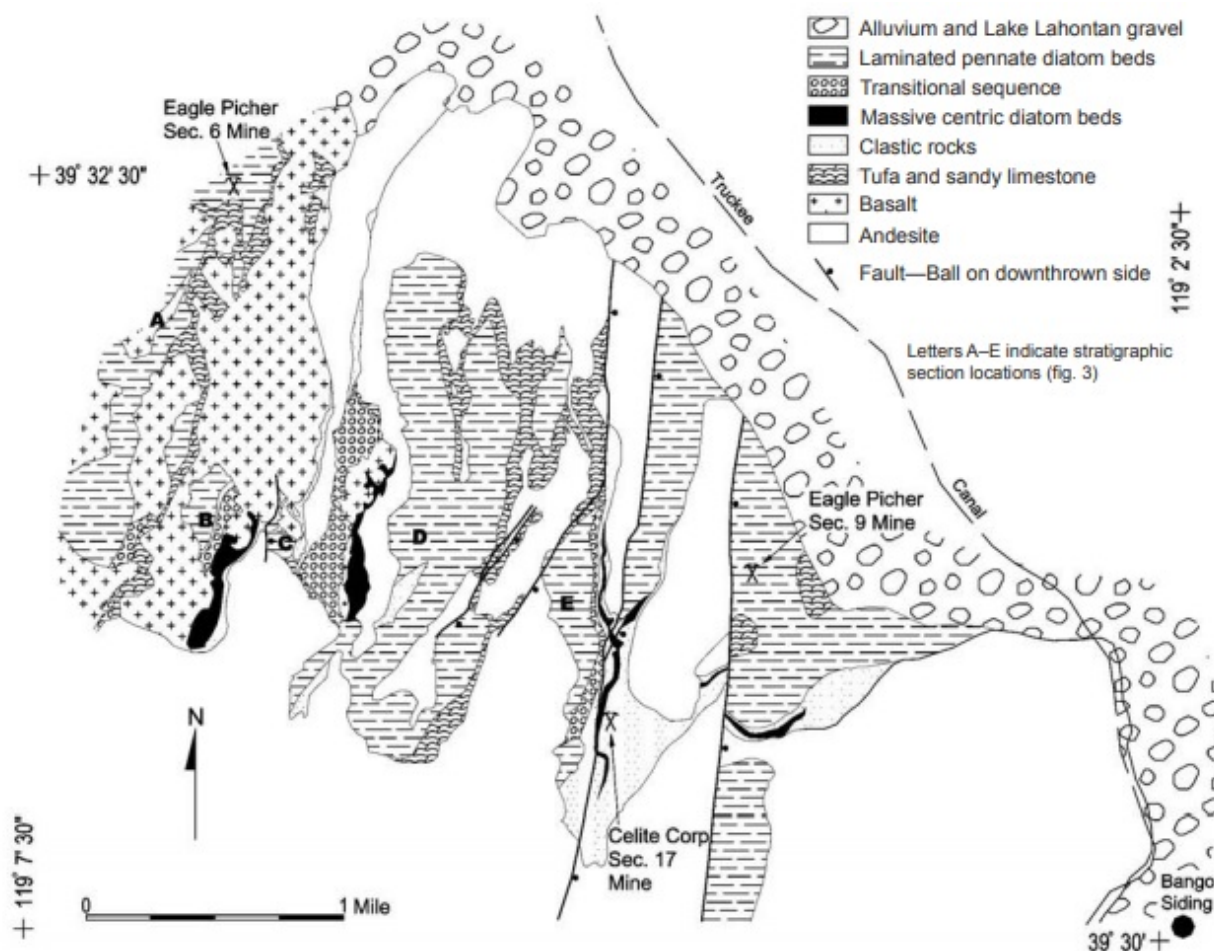


Figure 15 : Carte géologique du district à diatomite de Fernlay, Nevada, États-Unis.

Source : Houseman (2004)

Les gisements du district de Fernlay se situent dans une zone tectonique complexe formée de bassins lacustres faillés et âgés du Miocène supérieur. Deux épisodes de dépôt sont identifiés grâce à l'étude des diatomées dans les sédiments : (1) un stade précoce lié à une tectonique active, une inclinaison des sédiments de nature clastique et le dépôt concentrique de diatomées (9,8-9,5 Ma) ; (2) un second stade de dépôt sédimentaire lors d'une période atectonique et le dépôt de diatomées pennées (9,5-9,4 Ma). Au Miocène moyen et supérieur, la tectonique extensive de la région engendre la formation de demi-grabens dans lesquels se déposent des sédiments clastiques grossiers avec des intercalations de niveaux à diatomées de type *Aulacoseira*. Puis le contexte tectonique devient plus calme, ce qui permet le remplissage des bassins lacustres avec notamment des strates à diatomées pennées reposant en discordance sur les couches sédimentaires précédemment inclinées vers l'ouest lorsque les failles bordant les bassins étaient actives.

3.2.3. Les gisements français de diatomite

En France, les gisements de diatomite sont de type continental lacustre en contexte volcanique. Trois gisements sont bien documentés et brièvement décrits ci-après : Saint-Bauzile, Virargues et Nouvialle.

- **Gisement de la Montagne d'Andance à Saint-Bauzile (Ardèche)**

Le gisement est localisé sur le massif de la Montagne d'Andance, à Saint-Bauzile, en Ardèche. Ce dernier fait partie d'un massif plus vaste, le plateau basaltique du Coiron (Miocène). C'est actuellement l'un des plus importants gisements mondiaux d'origine continentale exploité pour la production de diatomite de haute qualité (Figure 16 et Figure 17). Le volume de la formation lacustre a été estimé à plus de 10 millions de m³. Ce gisement est exploité depuis 1959. Du point de vue géologique, il s'agit d'un ancien lac de cratère d'explosion appelé « maar », formé au Miocène supérieur au sein de marnes âgées du Valanginien (Crétacé inférieur) (Figure 18 et Figure 19).

La mise en place du maar se fait au cours d'une explosion volcanique cataclysmique (hydro-magmatisme) qui perfore littéralement le socle rocheux, ici représenté par des marnes âgées du Valanginien (Figure 20). Un premier remplissage lacustre permet le dépôt de sédiments parfois diatomifères. L'activité volcanique reprend et ses produits se répandent sur les sédiments lacustres déposés précédemment. Une seconde phase de remplissage lacustre prend place avec le dépôt de diatomées. Puis, une coulée basaltique vient recouvrir les couches sédimentaires riches en diatomées. Ainsi, l'ancien lac auparavant dans une dépression topographique, s'est retrouvé protégé de l'érosion par la dernière coulée de lave, pour former le gisement de diatomite de la Montagne d'Andance exploité aujourd'hui (Figure 19).

Les dépôts ont néanmoins en partie été érodés, ce qui ne permet pas de préciser les dimensions exactes de l'ancien lac, estimées à moins de 2 km de diamètre et une profondeur qui aurait pu atteindre 400 m. Les premiers dépôts lacustres sont diatomifères mais assez impurs et l'épaisseur n'est pas réellement connue. La principal niveau diatomifère exploité, issu de la seconde phase de dépôt lacustre atteint une épaisseur maximale d'environ 60 m. Les principales espèces de diatomées retrouvées dans le gisement sont *Cyclotella andancensis*, *Diatoma elongata*, *Navicula similis*, *Cymbella aff. parva*, *Epithemia turgida*, *E. hyndmannii*. Le dépôt a pu être daté du Miocène supérieur grâce à la découverte d'une mâchoire fossile d'*Hipparion gracile*. Enfin, l'épanchement basaltique qui vient recouvrir le principal niveau diatomifère est composé d'au moins trois coulées distinctes pour une épaisseur totale estimée d'environ 50 m.

Le dépôt de diatomite de la Montagne d'Andance est de loin le plus connu et demeure exploité, mais il faut mentionner la présence d'autres occurrences de diatomite dans le massif du Coiron : (1) les Vans près de Valle, (2) le Sommet de Berguise près de Saint-Martin-le-Supérieur, (3) les Rancs Rouges-la Grangette au nord de Rochessauve et au sud de Alissas, (4) le Bartras à Pourchères, et (5) un maar situé près de Eyrebonne.

L'exploitation de la carrière a commencé sur le versant ouest de la Montagne d'Andance par galeries souterraines, puis s'est déplacée vers l'est en suivant le versant sud de la montagne. L'exploitation est aujourd'hui à ciel ouvert, réalisée par l'entreprise Chemviron (cf. chapitre 6.2).



Figure 16 : Carrière de diatomite de la Montagne d'Andance à Saint-Bauzile (Ardèche). Le cliché montre clairement les dépôts blancs de diatomite et les orques basaltiques de couleur noire. Source : Bernard Riou



Figure 17 : Cliché de détail de la diatomite de la Montagne d'Andance avec un fossile de feuille de tilleul. Source : Bernard Riou

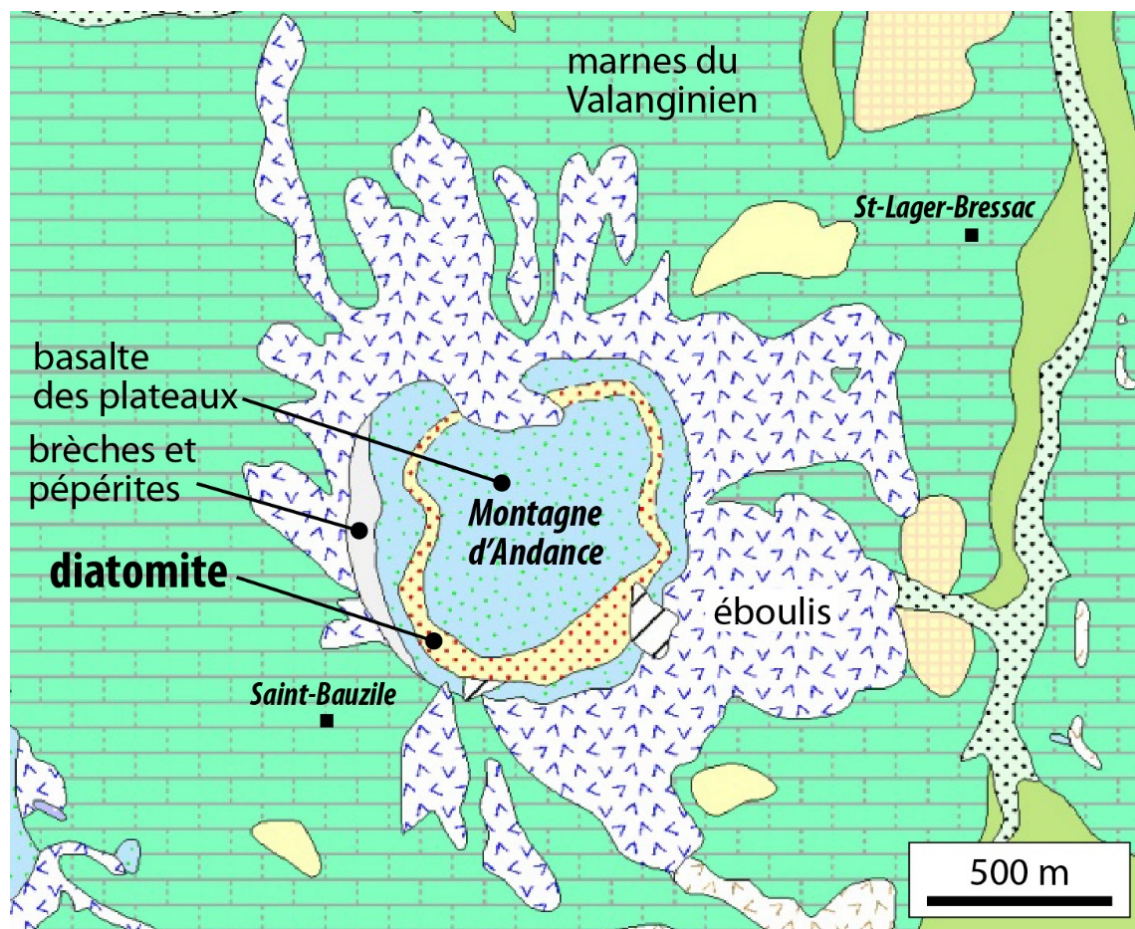


Figure 18 : Carte géologique du gisement de la Montagne d'Andance à Saint-Bauzile (Ardèche).
Source : BRGM

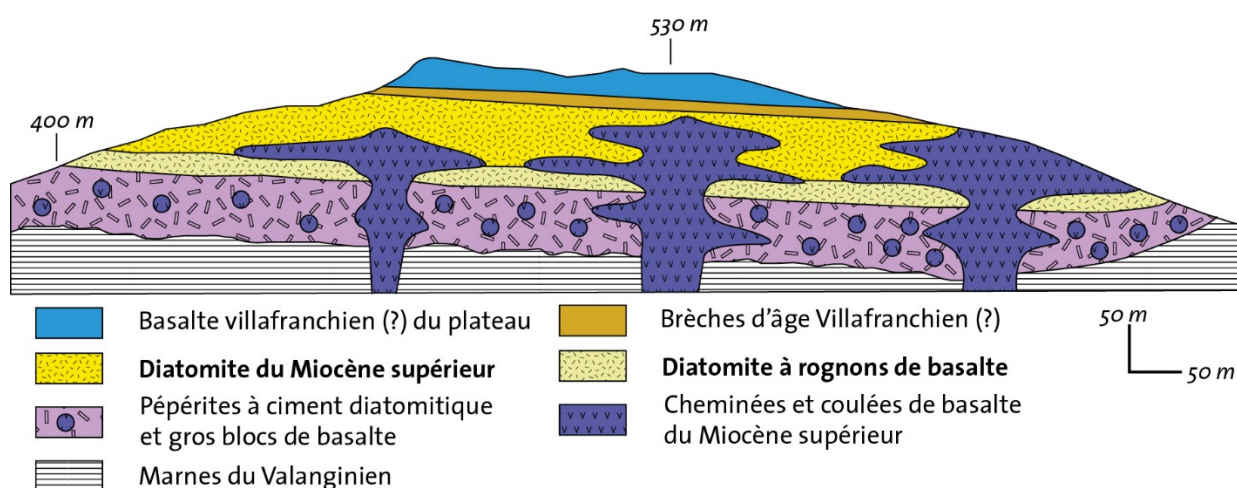


Figure 19 : Coupe géologique interprétative du gisement de diatomite de la Montagne d'Andance à Saint-Bauzile (Ardèche). Source : modifiée d'après Mein et al., 1983

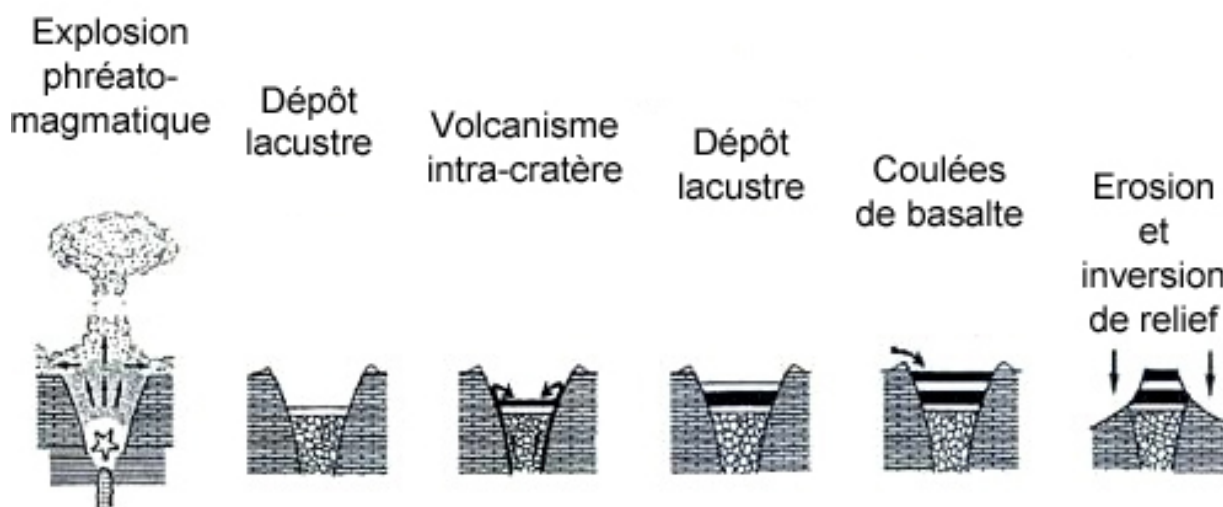


Figure 20 : Hypothèse de mise en place du gisement de la Montagne d'Andance à Saint-Bauzile (Ardèche). Source : <http://geo.cybercantal.net>

- **Gisement de Virargues (Cantal)**

Le gisement de Virargues dans le Cantal est localisé près des lieux-dits de Foufouilloux et d'Auxillac (Figure 21 et Figure 22). Ce gisement a été découvert en 1893 par Pages Allary et la première exploitation verra le jour en 1899. La carrière principale occupe une cuvette elliptique d'environ 800 m sur 1 300 m située en bordure de la planèze (plateau de basalte volcanique) de Chalinargues, à environ 5 km au nord-est de Murat.

Le gisement a été et est exploité dans plusieurs carrières. La carrière active est celle de Foufouilloux, alors que celles de la Chapelle-Sainte-Reine et de Pré-Fageol sont abandonnées. L'origine de la dépression, anciennement occupée par le lac à diatomées, n'est pas connue avec certitude. Cependant, un cratère d'explosion hydro-magmatique pourrait être à l'origine de cette dépression, mais aucune observation géologique n'a permis jusqu'ici de conforter cette hypothèse. La puissance totale des dépôts diatomitiques atteint 30 m par endroits, mais demeure très variable étant donné que le dépôt a été morcelé par l'érosion glaciaire. Un dépôt morainique dont l'épaisseur dépasse parfois 25 m a permis de préserver les strates à diatomite de l'érosion. Le substratum du gisement est constitué par une brèche contenant des fragments de trachyandésite, et la partie supérieure des strates à diatomite montre parfois des projections volcaniques interstratifiées de type lapilli basaltiques. Des apports fluviaux avec, notamment, des galets de phonolite ainsi que des intrusions basaltiques qui ne sont plus visibles aujourd'hui ont été observés par le passé au sein du gisement. La sédimentation siliceuse s'est effectuée en varves annuelles, épaisses unitairement de 0,3 mm environ, pauvres en matière organique au printemps et au début de l'été, enrichies en éléments nutritifs à la fin de l'été et en automne. Le nombre de varves étant d'environ 50 000, la durée de dépôt peut être estimée à au moins 50 000 ans. Les types de diatomées présentes sur le site sont : *Cyclotella*, *Melosira* et *Synedra*. L'âge K/Ar de $5,6 \pm 0,3$ Ma d'un filon de basalte traversant les strates à diatomite date le gisement à la limite Miocène-Pliocène.

À la surface des plaquettes de diatomite, il n'est pas rare de trouver des fossiles bien conservés (Figure 23) d'empreintes végétales variées : de mousses, de graminées, de feuilles de bouleau, aulne, noisetier, charme, hêtre, chêne, châtaignier, platane, saule, peuplier, orme, noyer, micocoulier, figuier, laurier, camphrier et érable, notamment.



Figure 21 : Carrière de diatomite de Foufouilloux dite « nord-est », exploitée par la société Chemviron près de Virargues (Cantal). Source : P. Rocher - BRGM

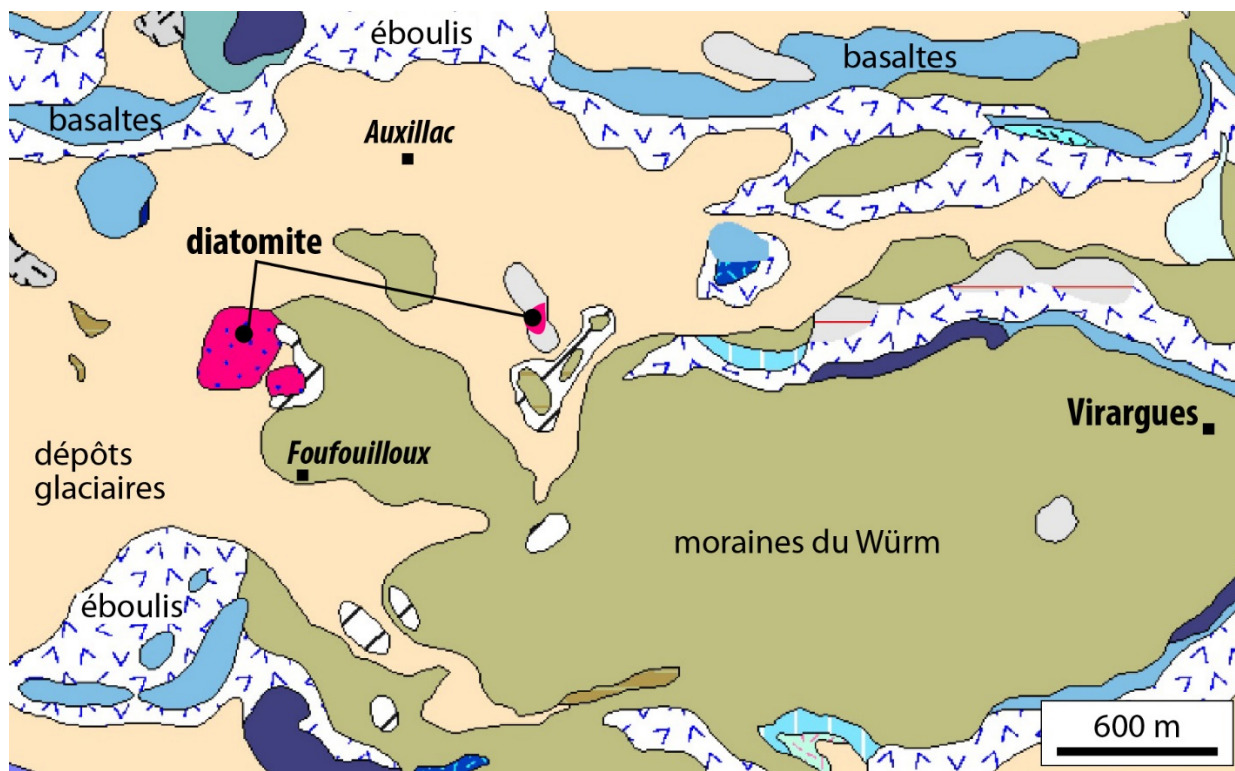


Figure 22 : Carte géologique du gisement de Virargues-Foufouilloux (Cantal). Source : BRGM



Figure 23 : Diatomite de Foufouilloux avec des restes fossiles de feuilles déposées au moment de la formation du lac. Source : Géoforum- speleunca09

Un autre gisement économique de diatomite dans le Cantal est celui de Nouvialle, situé au sud-est de Valuéjols sur la planèze de Saint-Flour mais étant situé sur une tourbière protégée comme zone humide à préserver, il apparaît difficile de l'exploiter sans impacter la zone humide à forte valeur environnementale.

Le gisement de Landos fait l'objet d'une zone spéciale de carrière (décret du 5 octobre 1990) situé en Haute Loire a été reconnu par Coframines. La ressource estimée serait de l'ordre de 5 Mm³. Le gisement se situe dans un grand cratère de maar typique recouvert par une tourbière et entouré de dépôts pyroclastiques. des investigations récentes sur ce gisement ne sont pas connues mais au vu des contraintes environnementales, il conviendrait d'étudier en premier lieu ce point pour savoir si l'exploitation serait envisageable.

Il faut néanmoins noter la présence d'une formation à diatomite du Miocène supérieur au nord-est de Joursac, aux environs du lieu-dit Servièrès, également situé sur la planèze de Saint-Flour. Ce gisement a fait l'objet d'une tentative d'exploitation durant la Seconde Guerre mondiale. Malgré la bonne qualité de la diatomite, la complexité tectonique du site ne permet pas une exploitation régulière puisque les niveaux à diatomite sont discontinus.

- **Gisement de Nouvialle-Valuéjols (Cantal)**

Le gisement de Nouvialle se situe au sud-est de Valuéjols sur la planèze de Saint-Flour, dans le Cantal (Figure 24 et Figure 25), à cheval sur les communes de Valuéjols, Tanavelle et Roffiac. Le gisement a été découvert de façon fortuite par un agriculteur en 1987 suite à un creusement pour la création de fondations. Cette zone a fait l'objet de quelques phases d'exploration (Figure 25) et apparaît comme l'un des gisements de diatomite les plus importants d'Europe.

Le gisement est localisé dans une narse, une zone humide souvent tourbeuse développée dans une dépression topographique circulaire issue d'un épisode volcanique cataclysmique de type hydro-magmatique, qui a amené à la formation d'un maar (Figure 27). La narse de Nouvialle s'étend sur environ 300 hectares, a un diamètre d'environ 1,5 km et se trouve classée en ZNIEFF et zone Natura 2000.

Plusieurs sondages de reconnaissance ont été effectués par les sociétés CECA et CELITE dans les années 1990 pour estimer la structure et la profondeur du gisement. Il s'avère que les dépôts tourbeux de surface ont une épaisseur comprise entre 50 et 60 cm. Quant aux dépôts lacustres essentiellement détritiques et qui renferment des niveaux à diatomite, leur épaisseur est estimée à plus de 50 m. En bordure de la narse, des dépôts pyroclastiques (tufs jaunes lités) confirme un peu plus l'hypothèse d'un maar pour expliquer la présence de la narse de Nouvialle.

Les données de sondage ont permis d'estimer des réserves globales (réserves probables) avoisinant 10 Mt. La diatomite de Nouvialle s'avère être de très bonne qualité du fait de sa très grande pureté. Or, ce site se situe sur une ZNIEFF (Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique), une ZICO (Zone Importante de Conservation des Oiseaux) et enfin une zone Natura 2000. Ces contraintes environnementales impliquent de forts enjeux quant à l'hypothèse d'une future exploitation du gisement.



Figure 24 : Narse de Nouvialle (Cantal), une zone tourbeuse développée dans un maar (lac de cratère) qui renferme l'un des plus importants gisements de diatomite en Europe. Source : www.infoclimat.fr

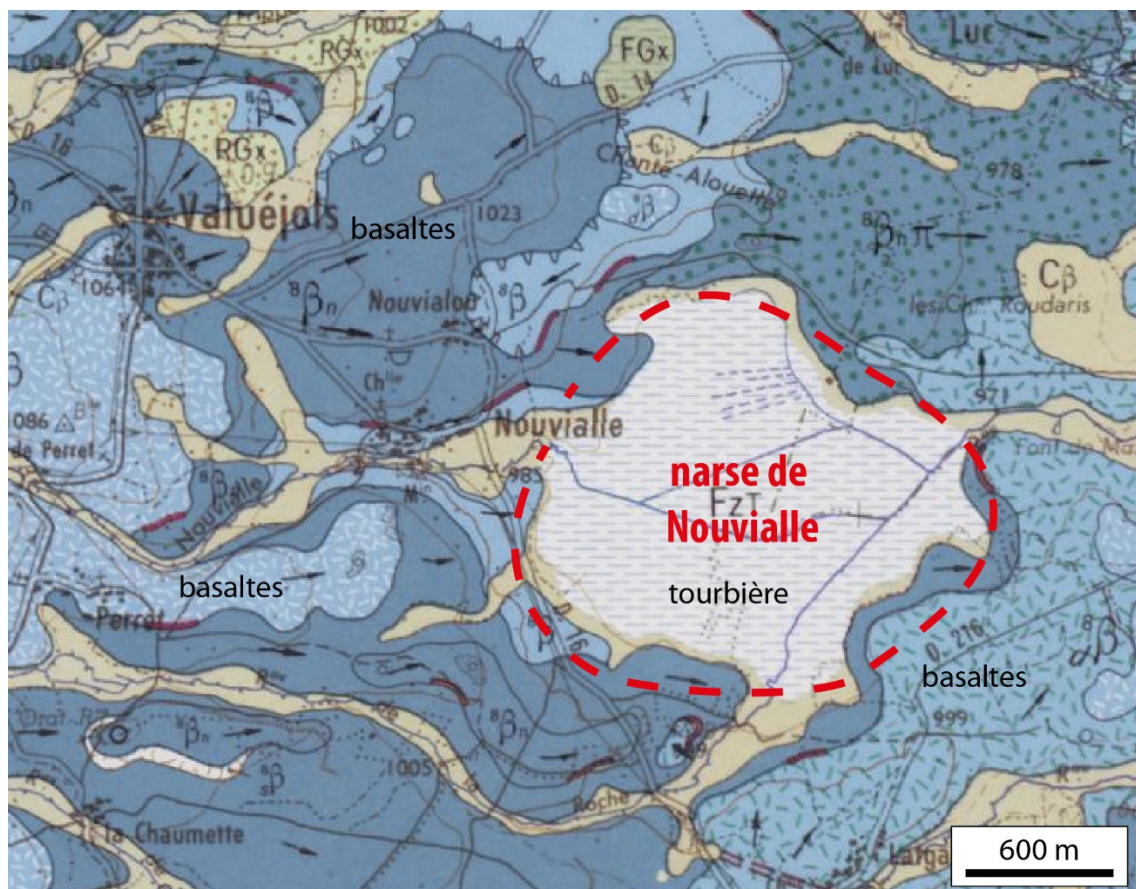


Figure 25 : Carte géologique du gisement de Nouvialle situé sous un recouvrement de tourbe et occupant une narse (zone humide située dans un maar, lac de cratère de type hydro-magmatique). Source : BRGM

En 2010, la DREAL Auvergne a autorisé la demande d'extraction temporaire de diatomite par la société World Minerals pour un test de traitement de diatomite, sans suites connues à ce jour (Figure 26).



Figure 26 : Extraction temporaire de diatomite dans la narse de Nouvialle pour un test de traitement par la société World Minerals en 2010. Source : World Minerals France

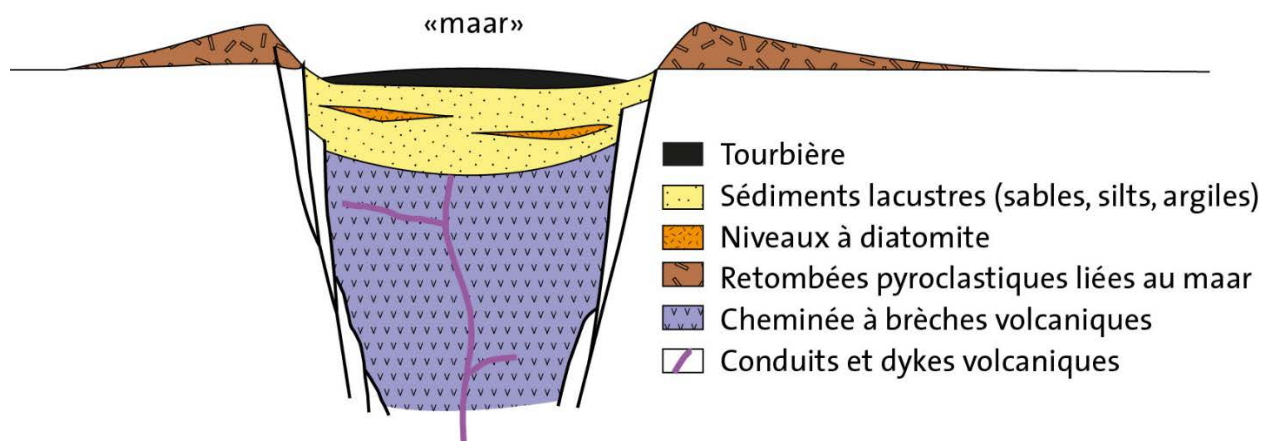


Figure 27 : Coupe géologique de principe d'un maar, un édifice volcanique issu d'une éruption phréato-magmatique. Le gisement de Nouvialle se serait formé après ce phénomène géologique violent avec la formation d'un lac dans le cratère. La narse de Nouvialle est aujourd'hui occupée par une tourbière qui masque les sédiments lacustres à niveaux de diatomite. Les retombées pyroclastiques visibles sur ce schéma général ne sont visibles qu'en de rares endroits à Nouvialle, car souvent érodées. Source : BRGM.

3.3. PROSPECTION DE NOUVEAUX GISEMENTS

Toute exploration d'un gisement de diatomite doit s'appuyer en premier lieu sur une bonne connaissance du contexte géologique du territoire à explorer et des typologies de gisements exposées dans les paragraphes précédents. Une approche de terrain demeure également indispensable.

3.3.1. Reconnaissance préliminaire : sélection de zones cibles

La reconnaissance est la première étape pour l'exploration de nouveaux gisements de diatomite (affleurants ou masqués) et peut se résumer aux différents points listés ci-dessous :

- **Synthèse bibliographique** sur le contexte géologique : (1) localisation des formations géologiques susceptibles de renfermer des diatomées : âges paléogènes, néogènes en particulier et quaternaires, (2) paléoclimatologie (identifier les périodes froides favorables à la production de diatomées et facteur-limitant à la précipitation de sels minéraux pénalisants) ;
- **Étude géomorphologique** : examen du modèle numérique de terrain (MNT), des photographies aériennes et des images satellite (ex. Aster, Landsat, Spot, Google Earth, etc.) afin d'identifier des zones de piège sédimentaire (lac en contexte volcanique, maar, zone marine d'« upwelling », etc.) ;
- **Étude de terrain** pour repérer les niveaux géologiques les plus clairs et les plus tendres, ainsi que les variations de la végétation (qui peut s'avérer spécifique à l'aplomb d'un dépôt de diatomite) ;
- **Étude géophysique** : gravimétrie (contraste de densité), électrique, imagerie en proche infrarouge (relevés aériens des caractéristiques thermiques), électromagnétisme aéroporté ;
- **Analyse chimique et minéralogique** : par fluorescence X et par diffractométrie des rayons X (DRX) qui renseignent sur le degré de pureté du dépôt de diatomite et caractérise ainsi les impuretés. Les principales impuretés rencontrées dans la diatomite sont la matière organique, les argiles, le quartz, les carbonates, les micas, les feldspaths et les cendres volcaniques.
- **Analyse pétrographique et paléontologique** : par microscopie optique, par microscopie électronique à balayage pour caractériser les espèces de diatomées grâce à leur forme, leur taille et la structure de leurs frustules. Le type diatomées en présence déterminera l'aptitude des matériaux pour des applications spécifiques.

Cependant, en fonction de la présence d'un gisement affleurant à sub-affleurant ou d'un gisement masqué, les phases préliminaires d'exploration seront différentes.

- **Gisement affleurant à sub-affleurant :**
 - o Recherche de zones d'affleurements ;
 - o Échantillonnage : rainures perpendiculaires aux couches (par tranches de 1-2 m), trous à la tarière, à la pelle mécanique, puits éventuellement (maille des ouvrages de 0,5 à 1 km initialement, 200 à 400 m ensuite) ;
 - o Tests de caractérisation sur le matériau :
 - Couleur, brillance ;
 - Masse volumique apparente, porosité, absorption d'eau ;

- Examen au microscope ;
 - Calcimétrie, analyse minéralogique ;
 - Analyse chimique : SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO et éventuellement TiO_2 , P_2O_5 , Na_2O , K_2O et perte au feu ;
 - Broyage, densité de la poudre en vrac.
- **Gisement masqué :**
 - o Exploration entreprise seulement si le contexte est favorable (présence d'indices connus, caractéristiques morphologiques d'un gisement potentiel) ;
 - o Sondages carottés (diamètre > 10 cm pour permettre un carottage représentatif avec une absence de pollution et une récupération suffisante pour mener les différents tests) ;
 - o Sondages destructifs couplés à une diagraphie (ex. neutron pour tester la porosité de la diatomite), en complément des sondages carottés si ces derniers s'avèrent positifs ;
 - o Observations et tests sur le matériau, similaires à ceux effectués pour un gisement affleurant à sub-affleurant.

L'exploration peut se poursuivre avec d'autres méthodes d'investigation comme :

- o L'examen sur le terrain des échantillons à l'aide d'un microscope portable pour obtenir rapidement de possibles informations sur la nature des constituants des dépôts ;
- o L'étude des associations et des variations des espèces de diatomées pour qualifier et identifier des niveaux spécifiques dans un même gisement. Cela permet entre autre de mieux cartographier les limites du gisement et d'avoir un repérage stratigraphique au sein du gisement ;
- o Les méthodes géophysiques de sondages électriques et de sismique réfraction pour mieux déterminer la structure géologique, la configuration interne des réservoirs et l'agencement des couches sous les zones non affleurantes. Cela permet aussi de repérer les unités stratigraphiques d'après leur degré de consolidation et d'identifier des cibles prioritaires pour l'implantation des sondages.

L'échantillonnage est une étape essentielle lors de l'exploration, et le choix des techniques est primordial pour obtenir des échantillons représentatifs et de qualité. Dans certains contextes particuliers, différentes techniques d'échantillonnage pourront être utilisées : boues et vases au fond des lacs et dans les zones de marécages échantillonnées par pompage, dragage ou à l'aide d'une tarière à cuillère.

La diatomite est exploitée pour obtenir des produits finis spécifiques à des usages et à des besoins du marché. C'est pourquoi l'échantillonnage doit intégrer à l'avance ces enjeux pour permettre d'orienter les spécifications critiques des produits finis en connaissant les variations de la qualité des matériaux. Les essais et les analyses qualitatifs appropriés doivent être choisis pour juger des résultats au regard des standards de l'industrie et des produits finis concurrents. Au sein d'un même gisement, la qualité des matériaux peut varier en fonction des couches à diatomite. Ainsi, les mailles et les méthodes d'échantillonnage doivent être adaptées en fonction, pour optimiser la connaissance des variations de qualité et éviter ainsi les erreurs d'interprétation relatives à la représentativité des échantillons.

3.3.2. Reconnaissance systématique : l'étude du gisement

Si les résultats de la reconnaissance préliminaire sont concluants, une reconnaissance systématique du gisement est entreprise par sondage, puits ou tranchées selon la configuration géométrique et le contexte du gisement.

De même, la maille d'échantillonnage finale sera choisie en fonction de la continuité des couches et des variations de la qualité du matériau. D'une façon générale, une maille de prélèvements de 50 m ou moins, jusqu'à 100 m est définie pour permettre de préciser le schéma d'exploitation.

Comme pour la phase préliminaire, les différents tests et analyses préconisés sont :

- o Granularité après broyage (simulation du traitement du matériau en usine) ;
- o Résistivité et pH ;
- o Analyses des éléments en trace (dont métaux lourds et composés toxiques) ;
- o Essais d'abrasivité ;
- o Essais de filtration (vitesse de filtration, limpidité des filtrats) ;
- o Mesure de la surface spécifique ;
- o Teneurs en éléments solubles (ex. solubilité du fer et du calcium dans l'acide).

Enfin, si les résultats de la reconnaissance systématique concluent à la qualité commerciale des matériaux, si les conditions d'extraction sont satisfaisantes, si les conditions environnementales, sociales et sociétales sont acceptables, de nouveaux échantillons de matériaux bruts seront prélevés pour déterminer les conditions industrielles de production à l'échelle d'une usine de traitement.

4. L'activité extractive de la diatomite en France

4.1. LOCALISATION DES CARRIÈRES ACTIVES

Les carrières actives qui extraient de la diatomite en France sont concentrées dans le Cantal et l'Ardèche (Figure 28).

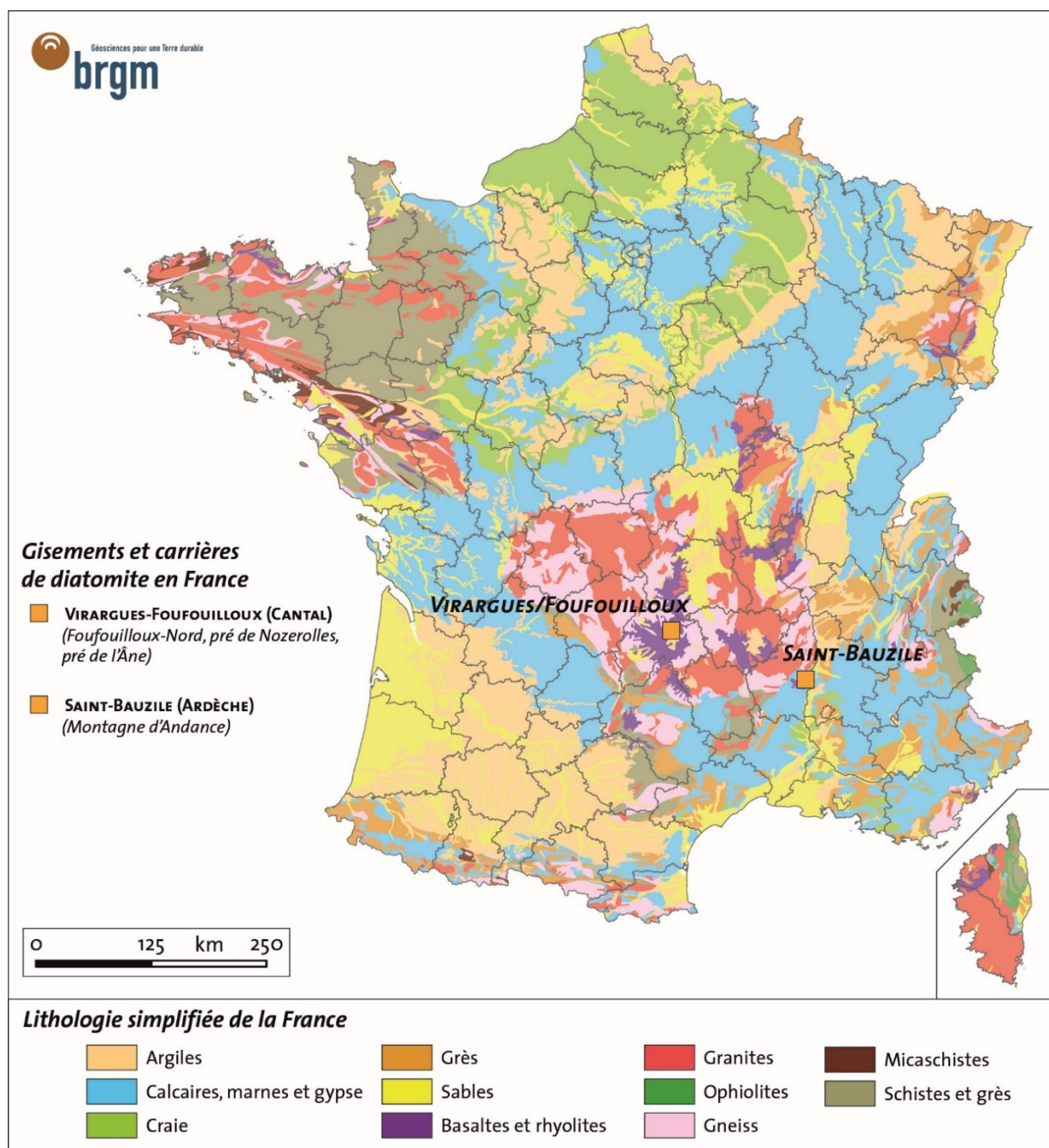


Figure 28 : Carte des carrières de diatomite actives en France en 2018 (Source : BDCM-BRGM)

Deux gisements de diatomite de type continental lacustre sont actuellement exploités sur l'ensemble du territoire métropolitain¹:

- le gisement de la Montagne d'Andance (Saint-Bauzile) en Ardèche, qui approvisionne l'usine Chemviron implantée à Saint-Bauzile ;
- le gisement de Virargues/Foufouilloux, dans le Cantal, qui alimente à la fois l'usine de la société Chemviron à Riom-ès-Montagnes et celle de la société Imerys basée à Murat.

En 2018, cette exploitation a lieu sur 4 carrières distinctes :

- la carrière de la Montagne d'Andance (société Chemviron) ;
- la carrière de Foufouilloux-Pré de l'Âne (société Chemviron) ;
- la carrière de Foufouilloux-Nord (société World Minerals France, filiale d'Imerys Filtration) ;
- la carrière Foufouilloux-Pré de Nozerolles (Imerys Filtration).

4.2. STATISTIQUES DES PRODUCTIONS DES CARRIÈRES

En 2018, la production française de diatomite (matériaux bruts extraits) maximale autorisée est de 460 kt/an, répartie sur les 4 carrières comme suit :

- Montagne d'Andance : 170 kT ;
- Foufouilloux-Pré de l'Âne : 80 kT ;
- Foufouilloux-Nord : 100 kT ;
- Foufouilloux-Pré de Nozerolles : 100 kT.

Cependant, plusieurs enquêtes auprès des différents exploitants indiquent une production réelle inférieure, de l'ordre de 300 kT de matériaux bruts extraits, correspondant à une production nationale de produits marchands diatomitiques de 100 kT.

4.3. RESSOURCES ET RÉSERVES PLAFONNÉES

En 2018, les arrêtés préfectoraux (AP) autorisant l'exploitation des 4 carrières actives à ce jour définissent les échéances suivantes :

- Montagne d'Andance : jusqu'en 2039 ;
- Carrière Foufouilloux-Pré de l'Ane : jusqu'en 2038 ;
- Carrière Foufouilloux Nord : jusqu'en 2020 ;
- Carrière Foufouilloux- Prés de Nozerolles : jusqu'en 2023.

Ainsi, sans renouvellement des demandes d'autorisations de la part des principaux exploitants, seules 2 carrières seraient encore en activité à l'horizon 2025 (Figure 29).

¹ Il n'y a pas de carrières exploitant de la diatomite pour un usage industriel dans les DOM.

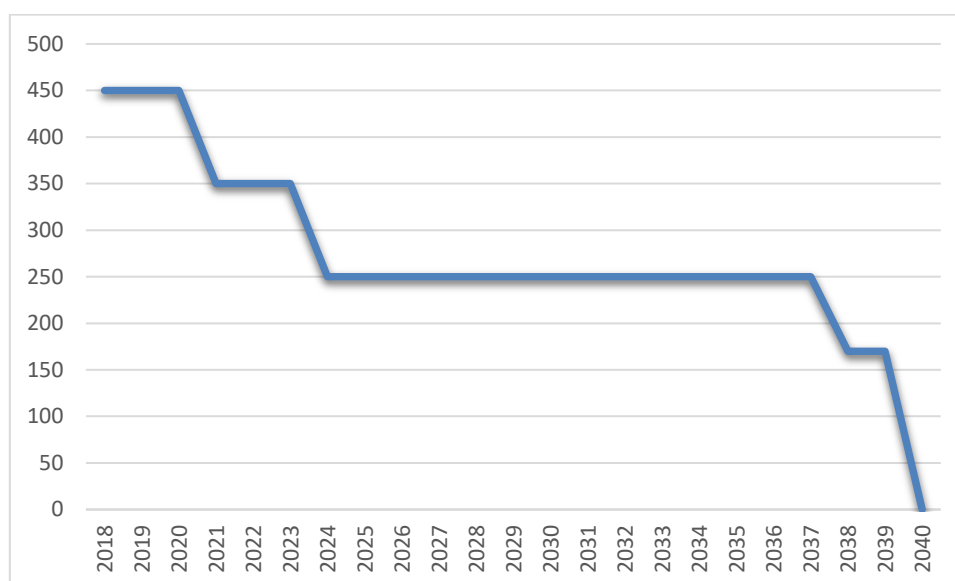


Figure 29 : Productions autorisées (en kilotonnes) des carrières de diatomite entre 2018 et 2040 sur la base des autorisations actuelles (Source : BDCM-BRGM)

L'évaluation des réserves des gisements exploités est en général effectuée par les principaux exploitants en interne, sans mise à disposition publique des données. De plus, ces évaluations peuvent ne concerner qu'une partie de l'ensemble des ressources en terre, l'horizon d'une vingtaine d'années de réserves étant suffisant pour garantir la pérennité d'une exploitation. Cet horizon semble être assuré pour les gisements français en exploitation sans études supplémentaires à ce jour. Néanmoins, les difficultés pour obtenir de nouvelles autorisations sur des zones d'extension potentiellement sensibles écologiquement (et politiquement) pourraient peser sur les décisions de renouvellement des réserves connues.

Quant à des réserves additionnelles, l'évaluation du potentiel économique de ressources supplémentaires pour les convertir en réserves nécessite un certain nombre d'études complémentaires. C'est par exemple le cas du gisement de Nouvialle, dont les premiers travaux exploratoires ont permis d'estimer des réserves probables avoisinant les 10 Mt. Ces travaux mériteraient d'être poursuivis pour atteindre le stade de la faisabilité économique. Néanmoins, la sensibilité écologique et politique de cette zone (cf. chapitre 3.2.3) pèse toujours sur les potentielles initiatives de travaux complémentaires.

4.4. CRITÈRES D'EXPLOITABILITÉ, MODES D'EXTRACTION ET PRINCIPES DE TRAITEMENT

4.4.1. Critères d'exploitabilité : généralités

Les critères d'exploitabilité de la diatomite **sont très différents, qu'ils s'agissent d'un gisement affleurant ou masqué. Le paramètre de la quantité d'eau dans le gisement peut également influencer l'extraction.** Pour les gisements de surface, les critères d'exploitabilité sont assez similaires d'un gisement à l'autre. Les gisements exploités par des travaux souterrains ne seront pas traités dans ce rapport. Il n'y a pas actuellement d'extraction en galerie en France.

Au niveau régional, des études de terrain (prélèvements superficiels puis sondages avec analyses) permettent de comprendre le contexte géologique régional et d'identifier les zones à forte susceptibilité de présence de gisement. Ils aboutissent à la sélection de sites à fort potentiel. Les gisements sont cependant, peu nombreux en France et la découverte de nouveaux gisements est rare.

Au niveau du gisement, la phase d'étude consiste à réaliser une campagne de sondages et d'analyses des échantillons prélevés. Cette phase permet de définir :

- La/les qualité(s) minimale(s) pour l'utilisation recherchée ;
- La teneur en eau dans le gisement ;
- La répartition spatiale du gisement ainsi que les réserves par qualité. Très souvent, la présence d'un volume minimal est requise pour garantir la rentabilité d'une exploitation ;
- La présence d'éventuels éléments « pénalisants » : oxydes métalliques (FeO_2 , MnO_2 , etc.), métaux lourds associés à la minéralisation ou matière organique. Il convient donc de s'interroger sur différents points en fonction des gisements rencontrés : Quelle est leur distribution ? ; Ces éléments sont-ils séparables ? ; Sous quelle forme se présentent-ils ? Les éléments pénalisants d'un gisement peuvent être très nombreux et leur répartition peut varier fortement. Les conséquences diffèrent en fonction des applications ;
- La géométrie du gisement et notamment l'épaisseur de découverte (mort terrain ou gisement altéré non exploitable). Le ratio de découverte est lié à la rareté des gisements et surtout au prix de vente du produit final. Il est admis pour les applications nobles de minéraux industriels des ratios de découverte de 3/1 (rapport BRGM n° 40377, 1998) ;
- Définir un plan d'exploitation garantissant un coût lissé du traitement, de la découverte, du réaménagement du site (lorsque ce dernier est phasé), et un approvisionnement constant dans toutes les qualités sur la chaîne de traitement durant toute la durée de vie de la carrière.

4.4.2. Modes d'extraction

Les modes d'extraction de la diatomite dépendent :

- **De la dureté du matériau** : en France, les gisements exploités se présentent sous la forme de matériau de niveau de dureté variable, ce qui implique que la diatomite peut être exploitée à la fois à la pelle mécanique et par minage (tir d'explosif), notamment pour la partie sommitale du gisement (coulées volcaniques). Mais souvent de par son caractère peu consolidé, la diatomite est le plus souvent exploitée à ciel ouvert à l'aide d'engins conventionnels (pelles hydrauliques, chargeuses, camions) ;
- **De la quantité d'eau présente dans le gisement** : en effet, la diatomite est très poreuse ce qui implique une quantité d'eau pouvant être importante dans ces gisements situés dans d'anciens lacs. La quantité d'eau peut être un handicap fort pour l'exploitabilité de la diatomite qui devra subir un séchage plus important ;
- **De la qualité du matériau** qui conditionne son usage. L'un des plus grands contaminants du gisement est la matière organique. Ainsi, une utilisation qui requiert peu d'exigence de qualité n'aura pas les mêmes méthodes d'exploitation qu'un matériau avec des spécificités de qualité strictes à respecter pour une utilisation plus spécifique.

Les équipements dans la carrière sont généralement de taille modeste pour assurer une certaine sélectivité dans les gisements comportant des alternances de couches à diatomite et de niveaux sédimentaires non valorisables. L'exploitation s'effectue à la pelle mécanique de petite taille, un minage continu est envisageable, toujours avec un chargement sur camion ou par convoyeur. L'opérateur s'appuie à la fois sur le plan d'exploitation issu du modèle-qualité réalisé, du suivi qualité durant l'exploitation mais aussi sur un contrôle visuel pour les qualités de gisements visibles à l'œil nu (comme des niveaux riches en matière organique de teinte noire ou brune). La précision du plan d'exploitation et l'expérience des opérateurs à l'extraction sont importantes car elles conditionnent la bonne alimentation de la chaîne de traitement en qualité ainsi que sa régularité.

La diatomite ne devant pas contenir trop d'eau, les conditions météorologiques sur l'exploitation sont parfois déterminantes et l'extraction peut parfois s'opérer uniquement lors de périodes estivales plus favorables. En période humide, les travaux de décapage et de réaménagement se déroulent plus aisément.

Avant l'extraction, une campagne de forage s'effectue sur le front de taille avec un maillage 50/50. Des tests en laboratoire sont effectués sur les carottes afin de vérifier la qualité du gisement à extraire sur la zone concernée. Les essais réalisés en laboratoire sont des essais de filtration, de granulométrie, de mesure de blancheur et de test de porosité.

Une fois la qualité du gisement confirmée, le décapage de la moraine glaciaire (recouvrement stérile) ou de coulées volcaniques (Figure 30) peut commencer et se réalise à la pelle mécanique pour atteindre le toit du gisement de diatomite.



Figure 30 : Opération de décapage par bulldozer et tombereau sur le gisement de Foufouilloux (Cantal). Source : Mines & Carrières

4.4.3. Prétraitement

Une fois extraite, la diatomite est acheminée vers l'usine pour subir des traitements dont la nature varie selon le degré de pureté et le domaine d'application. Séchage, broyage et sélection constituent les étapes inévitables pour éliminer l'humidité naturelle et la matière organique.

La Figure 31 présente la chaîne de production de la diatomite, depuis l'extraction jusqu'à l'expédition des produits bruts au(x) client(s).

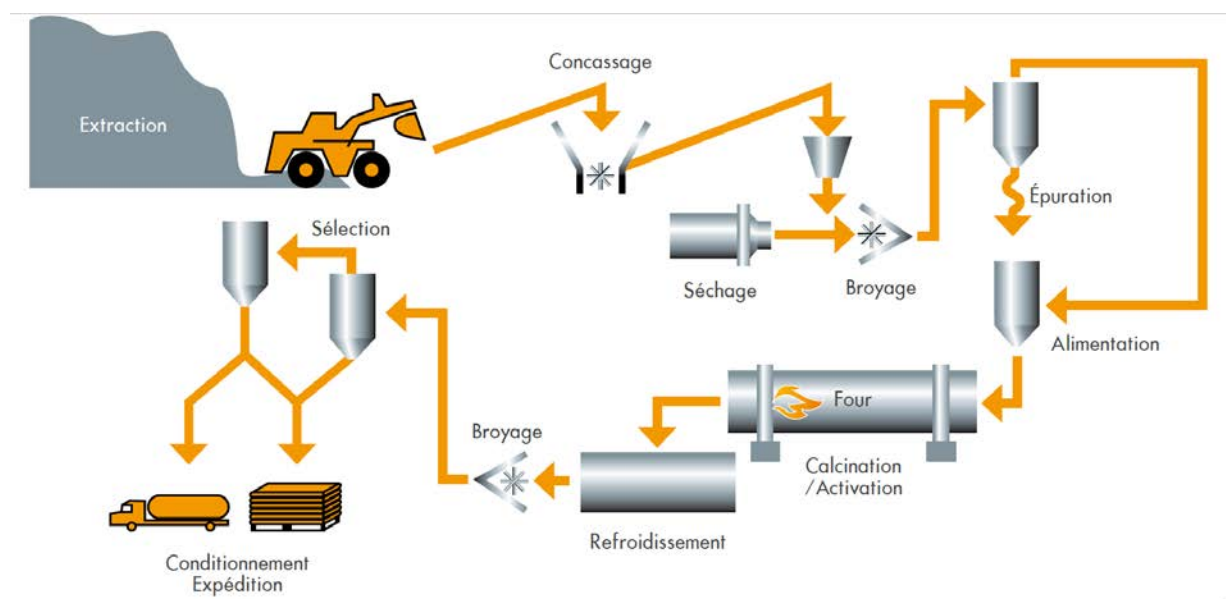


Figure 31 : Procédé de traitement de la diatomite, de la carrière au produit brut final (CECA).

a) Épuration

L'élimination des plus gros blocs de roches massives (ex. basalte) sert à préserver la structure des frustules de diatomées et éviter le broyage des impuretés.

b) Voie sèche

Sur les installations par voie sèche, l'objectif est d'éviter le contact avec l'eau et de favoriser, durant le traitement, le séchage naturel afin de limiter les coûts de séchage dans l'installation.

Ainsi, le matériau sorti de l'exploitation peut être criblé et entreposé sous hangar, abrité et ventilé, permettant un pré-séchage naturel. L'extraction doit aussi s'effectuer par temps sec.

4.4.4. Les principes de traitement

La transformation après le prétraitement va être très variable en fonction des produits élaborés et des filières. Sont distingués dans le traitement : la classification, la séparation, le broyage, la phase de calcination et des traitements spécifiques.

a) Concassage, classification, séparation

D'une manière générale, le matériau arrivant dans l'unité de traitement est concassé, classé par une série de tamis. Le classement permet :

- à la fois la sélection directe de certains produits finis ;
- de préparer un broyage ;
- de séparer les impuretés : matière organique, sables fins, silts, cendres volcaniques.

b) Séchage

Après le concassage, une étape de séchage permet de réduire la quantité d'eau contenue dans la diatomite de 60 % à 3 %. Le séchage se fait à des températures comprises entre 300 et 400 °C.

c) Broyage

Le broyage par voie sèche permet de commercialiser des poudres grossières, fines ou micronisées de couleur blanche.

À ce stade du traitement, les produits obtenus sont dits « naturels » (séchés, broyés et épurés) et sont utilisés dans diverses applications telles que la filtration (très faible perméabilité et vitesse de filtration extrêmement basse) pour les fractions grossières et la charge pour les particules fines. Presque tous les produits sont commercialisables dans les filières sans calcination : charges pour papier, caoutchouc, peinture, plastique et polymère, adhésifs et mastics, chimie, ainsi que les applications de niche où la diatomite est en plus désinfectée (pharmacie, cosmétique, alimentation, agriculture).

d) Traitements spécifiques

Pour certaines applications, la diatomite peut être traitée spécifiquement. Ces opérations ajoutent un surcoût et concernent les produits les plus spécifiques et les plus coûteux.

Plusieurs méthodes existent :

- **Délamination** (améliore le coefficient de forme d'un facteur de 20 à 40), cette opération augmente les propriétés d'écoulement dans les applications papier et plastique et augmente la résistance à la traction et à la lumière pour les plastiques ;
- **Calcination** pour améliorer la blancheur et la microporosité dans les applications papier et plastique, au détriment toutefois du coefficient de forme et de l'abrasivité qui augmentent.

e) Calcination, broyage et cyclonage

Les matériaux séchés et broyés sont calcinés dans un four rotatif de type cimenterie à des températures comprises entre 800 à 1 300 °C avec ou sans l'ajout d'un fondant (carbonate de sodium) destiné à favoriser le processus de sintérisation, agglomération contrôlée des particules par ramollissement ayant pour conséquence une modification des propriétés de perméabilité (Négroni, 2007). Ces matériaux calcinés seront une dernière fois broyés pour obtenir un produit homogène non amalgamé adapté aux applications de la filtration et de charges minérales.

La calcination simple est réalisée dans un four rotatif de 30 à 35 m de longueur. Du point de vue technologique, ce traitement thermique correspond à un frittage, c'est-à-dire à un début de fusion et a pour conséquence (Rocher, 1995) :

- d'éliminer 8 à 12 % de la matière organique encore contenue dans la diatomite ;
- d'agglomérer les particules et d'augmenter ainsi leur diamètre, la taille des pores et la perméabilité ;
- de transformer l'état de surface des frustules (qui deviennent lisses) et de diminuer leur surface spécifique (de 10-30 m²/g à 0,5-5 m²/g) ;
- d'augmenter la densité réelle (de 2 à 2,3), le pH, la dureté (de 4,5-5 à 5-6 sur l'échelle de Mohs), l'indice de réfraction (de 1,40 à 1,49) et la brillance (de 59-75 % à 85-95 %) ;
- de déshydrater la silice amorphe et d'initier la transformation de l'opale en cristobalite ;
- de faire varier la couleur du produit qui devient rose à blanc.

La calcination en présence d'un fondant, également appelée **activation**, est réalisée à une température moyenne de 1 000 °C. L'agent fondant (carbonate de sodium ou chlorure de sodium) est ajouté en amont du four rotatif à raison de 2 à 10 %.

Ce traitement thermique accentue encore plus les modifications apportées par la calcination simple :

- début de vitrification (abaissement de la température de fusion), agglomération des particules plus importantes d'où une augmentation de la granulométrie et de la perméabilité ;
- formation de silice cristalline aux dépens de la silice amorphe : teneur en cristobalite pouvant varier de quelques pourcents à 60 % ;
- transformation des impuretés minérales (carbonates, sulfates, sulfures) en composés insolubles (oxydes).

Les différents matériaux obtenus seront ensuite cyclonés pour différencier les produits purs (couleur blanche, perméabilité forte) des produits de moindre qualité (couleur rosâtre, perméabilité plus faible). La diatomite calcinée (dite rose) est un adjuvant à vitesse de filtration lente et avec une perméabilité inférieure à 0,3 Darcy. La diatomite calcinée-activée est un adjuvant à filtration rapide avec une perméabilité comprise entre 0,3 et 15 Darcy (Gaboriau, 1992).

f) Conditionnement

La dernière étape est celle du conditionnement, les produits finis sont commercialisés en sacs palettisés, en containers souples ou en vrac. Ces matériaux sont enfin expédiés au(x) client(s) en France, en Europe et au Moyen-Orient.

5. Filières industrielles de la diatomite

5.1. DOMAINES D'UTILISATION DANS L'INDUSTRIE

Les propriétés naturelles de la diatomite telles que la porosité, la faible densité et la forte inertie chimique permettent des applications des produits diatomiques naturels ou calcinés dans une large gamme de secteurs industriels.

Les filières d'usages ont évolué au cours du temps. Historiquement, les premières utilisations des blocs et des poudres de diatomite ont concerné les produits absorbants, abrasifs et isolants. L'emploi de la diatomite, pour ses propriétés absorbantes, en tant que stabilisant de la dynamite, a été le plus important au début du XX^e siècle.

Dans les années 1920, l'évolution très rapide des technologies de transformation de la diatomite (développement des moyens de traitement par calcination, avec ou sans fondant) combinée aux progrès de classification granulométrique, a permis une diversification des utilisations. C'est ainsi qu'ont pu être élaborés progressivement des produits de type adjuvants de filtration et charges minérales de haute qualité, à partir de diatomite très pure. Ces deux secteurs d'utilisation sont aujourd'hui les plus importants à l'échelle mondiale, la filtration étant de loin la première, représentant selon les sources et les zones géographiques, entre 50 et 75 % des usages (Figure 32). D'autres usages sont moins exigeants en termes de qualité de produits, comme par exemple les additifs dans les produits réfractaires ou le béton.

Principales filières industrielles d'utilisation des produits diatomitiques		
<u>Les agents filtrants</u>	<u>Les charges minérales et fillers</u>	<u>Autres secteurs</u>
(environ 75 % de la consommation) avec des utilisations dans plusieurs domaines • <u>l'industrie alimentaire</u> : - brasserie (bière et moûts) - œnologie (vins, cidre) - glucoserie (à base de maïs, de riz...) - sucrerie (sucre de canne et de betteraves) - huilerie (huiles de tournesol, colza, arachide...) • <u>La chimie et la pharmacie</u> • <u>La mécanique et la métallurgie</u> : • <u>Le traitement des eaux</u> : - eaux résiduaires et piscines	• Agent matant et satinant dans les peintures • Anti-bloquant dans les films PE • Charges dans les plaques filtrantes • Antimottant dans les aliments pour bétail • Charges en papeterie • Supports de catalyseurs • Empreintes dentaires	• Les produits réfractaires (briques isolantes) • Les absorbants

Figure 32 : Filières d'utilisation des produits diatomitiques. Source : World Minerals France

5.1.1. La filtration

En raison de sa structure particulière et irrégulière, de son inertie chimique, de sa grande surface spécifique et de sa faible valeur volumique, la diatomite est un agent de filtration idéal. La plupart des types de filtres est issue de diatomite calcinée (Figure 33). L'étape de calcination permet d'obtenir un produit cru « rose » ou « blanc » de haute pureté, au sein duquel la taille des particules est réduite et la surface des pores est augmentée, ce qui améliore d'autant le débit de filtration.

La diatomite est utilisée en couche filtrante ou dispersée dans le liquide à filtrer. Ces deux utilisations sont souvent combinées entre elles. La couche filtrante piège les particules grossières présentes dans le liquide. La diatomite dispersée dans le liquide fixe les derniers éléments solides. Ces techniques de filtration permettent d'obtenir une meilleure clarté du liquide.

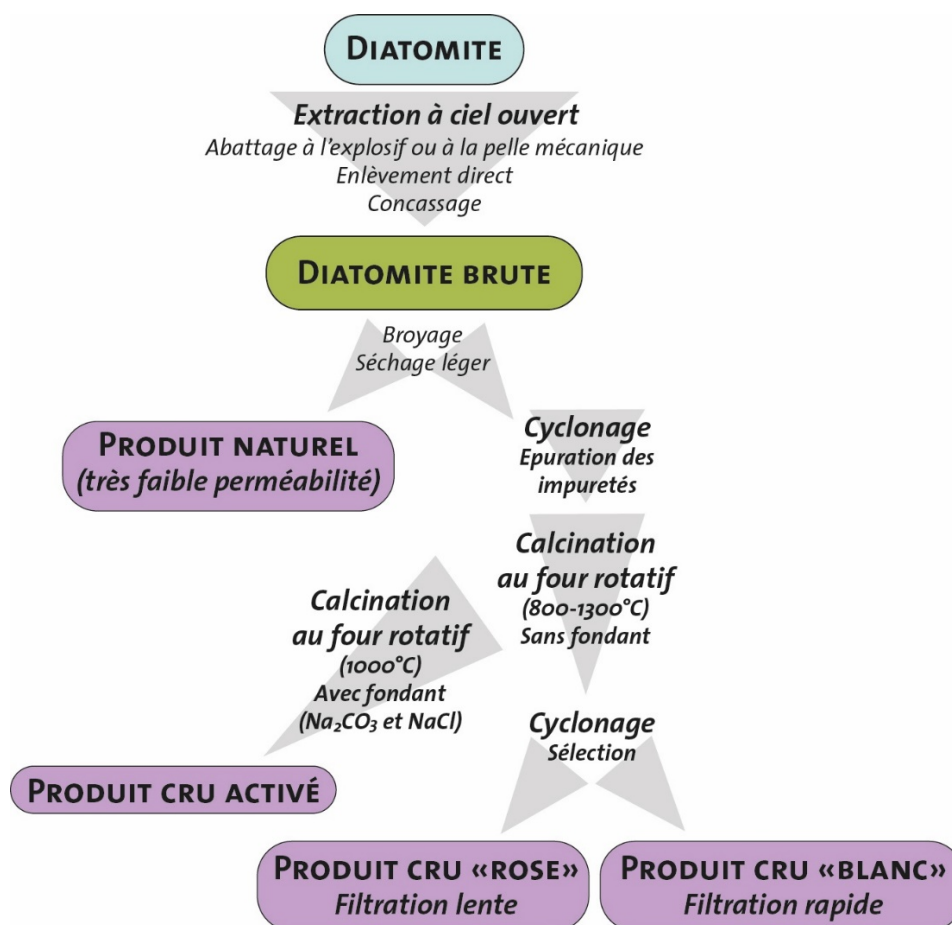


Figure 33 : Obtention de produits crus calcinés pour usages en filtration

Filtration de liquides (adjuvant de filtration)

Comme indiqué plus haut, la filtration de liquides est le premier débouché industriel des produits diatomitiques à l'échelle mondiale. Cette utilisation se décline dans plusieurs secteurs industriels.

Industrie agroalimentaire

L'industrie sucrière a été la première à développer l'emploi d'adjuvants de filtration à base de diatomite. Ceux-ci sont aujourd'hui principalement utilisés pour le dégrossissage, la clarification et la stabilisation de nombreux produits agroalimentaires. Les principaux exemples sont :

- bières, vins, jus de fruits et de légumes, cidre, liqueurs et autres spiritueux (whisky) ;
- sirops de sucre bruts (glucose et dextrose), pectines, gélifiants, épaississants et enzymes ;
- graisses et huiles alimentaires, alginates et autres dérivés d'algues.

Industries chimique et pharmaceutique

Les agents filtrants à base de diatomite sont utilisés dans divers types de filtration dans l'industrie chimique : vernis, laques, résines diverses, polymères, soufre, colles, etc.

En cosmétique, ils interviennent dans la filtration et la purification par principe actif (masque de beauté, dentifrice, rouge à lèvres).

Dans l'industrie pharmaceutique, les agents filtrants à base de diatomite sont également utilisés pour la filtration et la purification par principe actif (antibiotiques, produits vitaminés). En médecine, ils peuvent également servir à la filtration du sang humain. Tous ces usages demandent donc des produits de hautes spécificité et pureté, à forte valeur ajoutée.

Assainissement

Du fait de leur inertie chimique et des capacités de piégeage des impuretés, les agents filtrants à base de diatomite sont également largement utilisés dans les systèmes d'assainissement d'eau potable pour l'élimination de microbes et contaminants (bactéries, protozoaires, virus), ainsi que pour le traitement des eaux de piscine, des eaux usées, eaux industrielles et effluents divers.

Industrie métallurgique

De manière plus anecdotique, les agents filtrants à base de diatomite peuvent également être utilisés à la surface des bains d'acier en fusion, pour le piégeage des impuretés qui y surnagent (dans des conditions de refroidissement régulier).

5.1.2. Charges minérales et fillers

La grande surface spécifique et la grande capacité d'absorption de la diatomite permettent son utilisation comme charge de remplissage fonctionnelle, ou charge minérale².

Agent matant et satinant pour les peintures

Dans la peinture, la petite taille et la forme irrégulière de la diatomite rendent la surface rugueuse, ce qui donne un effet mat, améliore l'adhérence entre les couches et ajoute de la ténacité et de la durabilité au film. Ces dernières années, cependant, l'utilisation de charges diatomitiques au coût relativement élevé a été réduite par les industriels au profit de charges à base de carbonates de calcium.

Charges pour l'industrie papetière

Dans la production de papiers fins et spéciaux, la diatomite améliore la dispersion des fibres de cellulose, le drainage et rend les feuilles plus lisses. En effet, la diatomite a tendance à absorber les éléments lourds altérant la qualité des papiers. Elle permet donc au papier de rester souple et malléable avec une bonne résistance à la traction et à la déchirure. Du fait de son prix, l'utilisation de charges diatomitiques dans la fabrication des papiers et cartons est elle aussi désormais limitée à quelques produits spécialisés (revêtements en papier, papiers décor, papiers à cigarette).

Autres usages en tant que charges

- Agent anti-bloquant dans les films en polyéthylène : les charges diatomitiques permettent d'empêcher le soudage à froid des films en polyéthylène ;

² Le terme de fillers désigne des poudres dont la taille des grains est inférieure à 80 µm.

- Additifs fonctionnels pour des supports de catalyseur : avec le nickel pour l'hydrogénation, avec le vanadium pour la production d'acide sulfurique, avec l'acide phosphorique pour le raffinage du pétrole ;
- Additifs fonctionnels pour la synthèse organique, le traitement des huiles et l'enrobage d'engrais ;
- Agent antiagglomérant (aliments pour animaux, granulés d'engrais azotés, etc.) ;
- Etc.

5.1.3. Autres applications

Construction

Dans les bétons, enduits, mortiers, plâtres et crépis, la diatomite naturelle est une charge qui peut améliorer les propriétés de plasticité et de durcissement, la cohésion, l'homogénéité et la maniabilité (Breese, 2006). Elle augmente par ailleurs l'adhérence et l'étanchéité des bétons. De par sa grande finesse (remplissage des interstices) et son effet pouzzolanique (neutralisation de la chaux libre), elle accroît la résistance des ciments, notamment vis-à-vis des eaux agressives (eau de mer, eau séléniteuse).

La diatomite est également utilisée, dans des proportions pouvant aller jusqu'à 40 % du poids du ciment, pour alléger les traitements de cimentation de la colonne de certains puits de pétrole.

Produits isolants et réfractaires

La diatomite calcinée peut être employée pour la fabrication de différents types de produits d'isolation thermique, phonique et réfractaire :

- briques isolantes réfractaires ;
- panneaux de construction isolants et ignifuges (élaborés par simple cuisson) ;
- ciments réfractaires de jointement et bétons isolants réfractaires ;
- blocs moulés, enduits et poudres de bourrage ;
- briques de diatomite brute crue (obtenues par simple sciage).

Abrasif doux pour le polissage

La diatomite peut être utilisée comme abrasif doux car elle est moyennement dure et que sa structure creuse se décompose sous la pression. Elle peut donc fournir une bonne action de polissage (pâte dentifrice, vernis et agents de polissage).

Insecticide

La diatomite est un insecticide écologique. De par sa qualité abrasive douce, elle provoque des lésions dans l'appareil digestif, sur les articulations ou les ailes des insectes, provoquant leur mort par déshydratation. Elle tue la plupart des parasites à corps mou et est notamment utilisée pour lutter contre les puces de lits.

Agriculture

La diatomite peut être utilisée pour ses propriétés d'absorption et de désodorisation. Mélangée à de la nourriture animale et épandue sur le fumier, la diatomite permet un séchage plus rapide, réduit les odeurs et la présence de mouches. En litière, elle réduit l'humidité et limite le développement des parasites. Dans les plantations (arbres et plantes), en pulvérisation, la

diatomite permet de réduire le développement des ravageurs. Dans les zones où les animaux vivent, elle détruit de nombreux parasites (e.g. : poux rouges des poules). Pour le stockage de grain (orge, blé, maïs, avoine, riz, seigle), elle permet de réduire l'humidité et donc l'amalgamation des grains entre eux.

Source de silice

Enfin, la diatomite peut être utilisée dans la fabrication de silicates synthétiques comme le silicate de calcium (support pour plastifiants liquides dans le mélange du caoutchouc) ou le silicate de magnésium (agent antiagglomérant pour produits alimentaires).

5.2. SPECIFICATION DES PRODUITS DE VENTE

Les usages évoqués ci-dessus se caractérisent par les différentes qualités commerciales des produits diatomitiques. Ces spécificités sont basées sur des combinaisons de taille et de forme de particules, de luminosité/blancheur, de dureté abrasive, de types de frustules (affectant le débit de filtration, la transparence du produit et la capacité d'absorption), de teneur en silice libre et en impuretés telles que l'argile, le sable et les matières organiques.

Ces spécificités de produits sont obtenues grâce aux traitements subis par la diatomite, ce qui leur confèrent une valeur ajoutée plus ou moins grande. Pour un ordre d'idée, les prix de vente des différents produits vont d'environ 10 US\$/t pour des usages d'additifs dans le ciment, à plus de 1 000 US\$/t pour les applications de spécialité telles que les cosmétiques ou encore les utilisations pharmaceutiques et biomédicales (e.g. extraction de l'ADN), requérant la quasi-absence d'impuretés.

6. Marchés et perspectives

6.1. APERÇU DU MARCHÉ MONDIAL DE LA DIATOMITE

Au niveau mondial, les Etats-Unis dominent la production de diatomite avec 700 000 t en 2017 et une valeur estimée à 200 MUS\$ de diatomite traitée et exportée (Crangle, 2018). Dans ce pays, six sociétés produisent de la diatomite à partir de 12 zones minières et 9 installations de traitement, situées en Californie, au Nevada, en Oregon et dans l'Etat de Washington. Les États-Unis sont également le premier consommateur mondial avec une consommation intérieure apparente de 615 000 t.

Dans ce même classement réalisé par le service géologique américain (USGS), deux pays européens occupent respectivement les 2^{ème} et 3^{ème} places : la République Tchèque et le Danemark, tous deux proches des 450 000 t, suivis par la Chine (420 000 t). L'exactitude des chiffres peut néanmoins être contestée dans les quantités répertoriées ci-dessus ; la production danoise semble par exemple surestimée puisqu'elle ne correspond pas à des quantités de diatomites traitées commercialisables (séchées ou calcinées), mais à l'exploitation de « terres de Moler » (un mélange de diatomées et d'argiles plastiques). A l'inverse, le chiffre pour la France est sous-estimé puisqu'il est fait état de 75 000 t. Or, la production de diatomite dans l'hexagone est plutôt de l'ordre de 100 000 t de produits marchands diatomitiques (pour une production de matériaux bruts extraits de 300 000 t, le différentiel s'expliquant en partie par la forte teneur naturelle en eau de ces gisements).

Du côté de la demande, la répartition des marchés varie selon les zones géographiques. Au niveau mondial (en particulier aux Etats-Unis), le premier marché sont les adjuvants de filtration avec 50 % de la demande. Les principaux débouchés sont les secteurs de l'agro-alimentaire (brasseries en particulier). Vient ensuite la production de ciment (30 %), où la diatomite est utilisée comme additif, suivi du secteur des charges minérales et fillers (15 %) utilisés dans de nombreuses applications comme la peinture, les plastiques ou les papiers. Les absorbants correspondent à 5 % des usages de la diatomite, notamment pour l'élimination de microbes et contaminants, tels que les bactéries, les protozoaires et les virus dans les systèmes d'eau publics. Enfin, moins de 1 % des applications sont des usages de spécialité comprenant les utilisations pharmaceutiques et biomédicales (filtration du plasma sanguin, extraction de l'ADN, etc.).

6.2. MARCHÉ INTÉRIEUR : REVUE DES PRINCIPALES SOCIÉTÉS ET LEUR POSITIONNEMENT SUR LE MARCHÉ FRANÇAIS

6.2.1. Producteurs de diatomite en France

Le paysage des exploitants des gisements de diatomite français a peu évolué ces dernières années, ne laissant que 2 acteurs principaux : Chemviron et Imerys (via la branche Imerys Filtration).

CHEMVIRON

Les carrières de la Montagne d'Andance et de Foufouilloux-Pré de l'Âne étaient jusqu'en 2016 exploitées par CECA (filiale d'Arkema). Fin 2016, l'exploitant CECA a été remplacé par Chemviron France suite à un rachat par le groupe américain Calgon Carbon, lui-même racheté par le groupe japonais Kuraray en mars 2018. L'opérateur demeure aujourd'hui Chemviron France (www.chemviron.eu).

Les usines du groupe sont situées à Riom-ès-Montagnes et Saint-Bauzile. La production totale de produits finis est de l'ordre de 80 000 t. Les produits à plus fines granulométries sont destinés à la filière des charges minérales tandis que les plus grossiers sont mieux adaptés aux adjuvants de filtration. En France, le premier marché de ces produits est la filtration du vin et de la bière, qui représenterait 75 % des usages.

IMERYS

Les exploitants World Minerals et CELITE ont été rattachés au groupe Imerys après un rachat en juin 2005³. C'est ainsi, via sa branche Imerys Filtration France (<https://imerys-filtration.com>) que les carrières de Foufouilloux Nord et de Foufouilloux-Prés de Nozerolles sont exploitées, employant aujourd'hui 35 personnes. L'implantation actuelle de l'usine à Murat date de 1910 environ. La production dans les années 1900 ne concernait que des produits réfractaires et des charges minérales non calcinées. La calcination avec un four rotatif n'a commencé qu'en 1963. Les évolutions techniques récentes ont permis de développer une gamme de produits essentiellement destinés à la fabrication d'adjuvants de filtration.

La production annuelle est d'environ 20 000 t de produits finis (pour 60 000 t de matériaux bruts extraits), dont les deux tiers seraient destinés à l'exportation. Les produits séchés non calcinés sont également vendus comme charges minérales, dont les principaux consommateurs sont les industries du plastique, caoutchouc, engrais, réfractaires.

³ Pour les détails de l'opération, voir <http://www.indmin.com/pdfs/697/66991/nws200506006.pdf>

6.3. COMMERCE EXTÉRIEUR DE LA FRANCE

La nomenclature douanière (code NC8) correspondant à la diatomite est la suivante :

- 25120000 : farines siliceuses fossiles [kieselguhr, tripolite, diatomite, p.ex.] et autres terres siliceuses analogues, d'une densité apparente inférieure ou égale à 1, même calcinées.

Cette dernière nomenclature désigne essentiellement la diatomite, malgré la précision « autres terres siliceuses analogues » peu représentative.

Ces chiffres sont publiés sur le site <http://lekiosque.finances.gouv.fr> Pour les années 2016 et 2017, jusqu'à fin mai 2018, les échanges sont compilés dans le tableau ci-après (Tableau 1).

	2016			2017			juin 2017- mai 2018			Evolution 2016-2017		Principaux partenaires en 2017 (% des tonnages)
	Valeur	Masse	val.unit.	Valeur	Masse	val.unit.	Valeur	Masse	val.unit.	En valeur	En masse	
25120000 - Farines siliceuses fossiles [kieselguhr, tripolite, diatomite, p.ex.]d'une densité apparente <= 1, même calcinées												
Exportations	12 683 k€	23 404 t	542 €/t	11 515 k€	22 953 t	502 €/t	11 260 k€	23 478 t	480 €/t	-9.2%	-1.9%	Espagne 15%, Belgique 9%, Allemagne 9%
Importations	5 570 k€	14 280 t	390 €/t	5 522 k€	14 156 t	390 €/t	5 632 k€	14 814 t	380 €/t	-0.86%	-0.9%	Danemark 54%, Espagne 20%, Allemagne 13%
Solde	7 113 k€	9 124 t		5 993 k€	8 797 t		5 628 k€	8 664 t				

Tableau 1 : Chiffres du commerce extérieur français de diatomite 2016-2018. Source : Le Kiosque de Bercy

La balance commerciale sur les produits diatomitiques est positive (6 M€), malgré une baisse des exportations sur l'année 2017, rattrapée sur les premiers mois de l'année 2018. Les principaux partenaires commerciaux sont des pays européens.

Les volumes d'exportations de ces produits sont de l'ordre de 20 000 t/an. La consommation apparente de la France peut donc être estimée à 90 000 t.

6.4. ÉVOLUTION DES PRIX

En l'absence de place de marché, les prix de la diatomite sont négociés directement entre acheteurs et vendeurs. Certaines sources spécialisées (Industrial Minerals, www.indmin.com) répertorient les moyennes, hautes et basses, de ces contrats pour évaluer les prix des différentes qualités de diatomite sur le marché international.

Pour une qualité donnée, on observe peu d'évolution des prix sur les dernières années, voire une tendance baissière pour les produits de filtration. Les différences de prix concernent les spécificités d'usages. Ainsi, l'écart de valeur unitaire des produits diatomitiques varient de 10 US\$/t pour des usages d'additifs dans le ciment, à plus de 1 000 US\$/t pour les applications de spécialité telles que les cosmétiques ou encore les utilisations pharmaceutiques et biomédicales (e.g. extraction de l'ADN).

7. Recyclage et développement durable

7.1. ENVIRONNEMENT / SANTE ET SECURITE

La diatomite peut contenir, à l'état brut, du quartz (silice cristalline) toujours en très petite quantité et, après traitement thermique, principalement de la cristobalite à des teneurs variables (de quelques pourcents à plusieurs dizaines de pourcents). Compte-tenu de la teneur en humidité de la diatomite brute, généralement élevée (jusqu'à 60 %), les opérations d'extraction ne génèrent souvent pas de problèmes particuliers.

La détermination de la teneur en silice cristalline libre est requise par les réglementations environnementales, en particulier pour les produits à base de diatomite calcinée. Le IARC (International Agency for Research on Cancer) classe maintenant la silice cristalline dans la classe 1, connue cancérigène, de sorte que, par exemple, les produits minéraux et les produits chimiques contenant au moins 0,1 % de silice cristalline sont régis par la loi qui impose des réglementations pour les travailleurs et exige une formation des travailleurs, un étiquetage du produit, des fiches de données de sécurité décrivant le danger cancérigène. Cela a des implications non seulement sur la production et l'utilisation de diatomite, mais aussi lors de l'élimination de la diatomite et de matériaux porteurs tels que les filtrants. Dans certains systèmes de filtrage, le gâteau filtrant peut-être rincé et nettoyé pour la réutilisation. Cependant, pour la filtration de la bière et du vin, le filtrant n'est pas réutilisable.

Les producteurs de diatomite ont pris depuis longtemps des mesures pour réduire l'exposition des personnes aux poussières siliceuses, depuis l'extraction des matériaux bruts jusqu'à l'utilisation finale des produits, en passant par le traitement dans l'usine : moyens individuels de protection (masque, casque), système d'abattage et d'aspiration des poussières, techniques d'ensachage, transfert des produits par voie pneumatique dans des enceintes closes. À ces dispositions s'ajoutent un contrôle de l'empoussièrement continu dans l'usine de traitement, des examens médicaux réguliers et des campagnes d'information pour les personnes exposées.

7.2. RECYCLAGE ET SUBSTITUTION

Le recyclage des produits à base de diatomite utilisés en filtration est pris en considération dans la mesure où 500 000 à 600 000 t de gâteaux de filtration sont produits chaque année en Europe (1 t de diatomite génère 3 t de gâteaux de filtration). Ainsi, les gâteaux de filtration peuvent être recyclés en épandages agricoles (sauf pour les produits œnologiques), pour l'utilisation dans l'industrie (après pressage et distillation) et comme combustibles dans les cimenteries (bon apport de silice recherché dans le procédé de production du ciment).

Dans le passé, les utilisateurs ont recherché activement des produits de substitution à la diatomite en raison de la présence de silice libre cristalline dans les produits à base de diatomite, pouvant causer un problème sanitaire, ainsi que du fait de la difficulté de recyclage des produits de filtration à base de diatomite.

En fonction des filières, la diatomite peut être substituée par d'autres substances minérales :

- Argiles absorbantes pour litières animales : attapulgite, bentonite, sépiolite, gypse, zéolite ;
- Abrasifs : kaolin calciné, silice précipitée, corindon/émeri, diamant, feldspath, grenat, oxyde de fer (magnétite), syénite néphélinique, olivine, perlite, pierre ponce, sable

siliceux, staurotide, carbure de silicium, ilménite, attapulgite, bentonite, kaolin, tourbe, pierre ponce, pyrophyllite, sépiolite, talc, vermiculite, zéolite ;

- Filtre à charbon actif : anthracite, cellulose, grenat, oxyde de fer (magnétite), perlite, ponce, sable siliceux, gel de silice, ilménite et système de filtration non minéral comme la filtration sous vide et la filtration à flux croisés ;
- Remplisseur hydroxyde d'aluminium : barytine, carbonate de calcium, feldspath, kaolin, mica, syénite néphélinique, perlite, talc, silice microcristalline, farine de silice broyée et silice synthétique, wollastonite ;
- Briques d'argiles isolantes thermiques et sonores, laine minérale : perlite expansée et vermiculite exfoliée.

8. Conclusions et perspectives

La France bénéficie de ressources géologiques en diatomite relativement abondantes et de bonne qualité. Tous les gisements identifiés sont localisés dans le Massif Central. Deux de ces gisements sont actuellement exploités : Saint-Bauzile, en Ardèche et Virargues-Foufouilloux dans le Cantal.

Les 2 acteurs principaux exploitant les gisements de diatomite français sont les groupes Chemviron et Imerys. La production maximale autorisée en France est de 400 000 t. Cependant, plusieurs enquêtes auprès des différents exploitants indiquent une production réelle inférieure, de l'ordre de 300 000 t de matériaux bruts extraits, correspondant à une production nationale de produits marchands diatomitiques de 100 000 t. A l'échelle mondiale, la production totale est de l'ordre de 3 Mt, dominée par les Etats-Unis (700 000 t en 2017).

Du côté de la demande, la répartition des marchés varie selon les zones géographiques. Au niveau mondial (en particulier aux Etats-Unis), le premier marché est celui des adjuvants de filtration avec 50 % de la demande. Les principaux débouchés sont les secteurs de l'agro-alimentaire (brasseries en particulier). Vient ensuite la production de ciment (30 %), où la diatomite est utilisée comme additif, suivi du secteur des charges minérales et fillers (15 %), utilisés dans de nombreuses applications comme les peintures, les plastiques ou les papiers. Les absorbants correspondent à 5 % des usages de la diatomite, notamment pour l'élimination de microbes et contaminants, tels que les bactéries, les protozoaires et les virus dans les systèmes d'eau publics. Enfin, moins de 1 % des applications sont des usages de spécialité comprenant les utilisations pharmaceutiques et biomédicales (filtration du plasma sanguin, extraction de l'ADN, etc.).

Ces spécificités de produits sont obtenues grâce aux traitements subis par la diatomite, ce qui leur confèrent une valeur ajoutée plus ou moins grande. Pour un ordre d'idée, les prix de vente des différents produits varient d'environ 10 US\$/t pour des usages d'additifs dans le ciment, à plus de 1 000 US\$/t pour les applications de spécialité telles que les cosmétiques ou encore les utilisations pharmaceutiques et biomédicales (e.g. extraction de l'ADN), requérant la quasi-absence d'impuretés.

La France affiche une balance commerciale positive de 6 M€ sur les produits diatomitiques en 2017, pour des volumes de l'ordre de 20 000 t. Les principaux partenaires commerciaux sont des pays européens, en particulier l'Espagne et l'Allemagne. La consommation apparente de la France peut ainsi être estimée à 90 000 t.

Si certains usages de la diatomite sont en décroissance, comme les charges minérales pour l'industrie du papier et des peintures, remplacés par des substituts moins coûteux (e.g carbonates de calcium), l'augmentation de la demande dans d'autres secteurs comme les adjuvants de filtration, les engrais ou l'alimentation animale devrait assurer une augmentation des besoins français et mondiaux à court et moyen termes.

9. Références

- ALBOUY L., MARTEAU P., ODENT B., ROCHER P., SPENCER C., THIBAUT P.-M. (1994). *Panorama des matériaux (1993)*. Rapport BRGM R-37878, 62 p., 2 fig., 23 tabl.
- BREESE R., BODYCOMB F. (2006). *Industrial mineral and rocks*, 7th edition, SME, Littleton, p. 433-450.
- Bresse R.O.Y. (1994). *Diatomite Industrial Minerals and Rock*, 6th edition, Littleton, pp. 397-412.
- BRGM (1998). *Estimation de la consommation française de matériaux de carrière et produits dérivés*. Synthèse des travaux réalisés en 1998. Rapport BRGM R-40400, 19 p., 2 ann.
- BRGM (2000). *Panorama du marché français des matériaux de carrière et produits dérivés*. Rapport BRGM R40907, 127 p., 1 ann.
- BROWN T., WRIGHTON C., IDOINE N., RAYCRAFT E., SHAW R., DEADY E., RIPPINGALE J., BIDE T. (2017). *World Mineral Production 2011-2015*. Keyworth, Nottingham: British Geological Survey.
- CRANGLE R. D. Jr. (2016). *World Mineral Yearbook – Diatomite*. United States Geological Survey Accessible sur : <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/>
- CRANGLE, R. D. Jr. (2018). *Mineral Commodity Summaries – Diatomite*. United States Geological Survey Accessible sur : <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/>
- DIRECTION GÉNÉRALE DES DOUANES (2018). 25070080 - Diatomite. Disponible sur : http://lekiosque.finances.gouv.fr/Appchiffre/LEO/frame_LEO.asp.
- FEDERATION FRANÇAISE DES MINÉRAUX (2018). Fiches minérales. Disponible sur : <http://www.fedem.fr/Site/MATIERES/tableau.asp>.
- GABORIAU H., MOURON R. (1992). *Étude du marché de la diatomite comme agent de filtration (France, Portugal, Espagne et Italie)*, 40 p.
- HARBEN P. (1995). *The industrial Minerals Handybook*, 2^e éd., Imil, 252 p.
- HOUSEMAN, M.D. (2004). Late Miocene Diatomite Formation Near Fernley, Nevada. In: Castor et al (Eds), 2004. *Betting on Industrial Minerals Proceedings of the 39th Forum on the Geology of Industrial Minerals*, 142-152.
- NEGRONI J.-M. (2007). Fiche détaillée relative à la diatomite. Guide des exploitants, SIM, 3 p.
- REVUE GEOLOGUES (2001). *La diatomite dans le Massif Central*, n° 130/131, p. 186-192.
- ROCHER P. (1995). *Mémento roches et minéraux industriels – Diatomite*. Rapport BRGM R38758, 62 p., 6 fig., 12 tab.

Sites internet des sociétés ou organisations citées dans ce rapport

Imerys : www.imerys.com

Chemviron : www.chemviron.eu

Le Kiosque de Bercy : <http://lekiosque.finances.gouv.fr>.

Les terres à diatomées : <http://terrediatomee.fr>

Industrial Minerals : www.indmin.com



**Centre scientifique et technique
Direction des Géoressources**

3, avenue Claude Guillemin
BP 36009 - 45060 Orléans cedex 2 - France - Tél. : 02 38 64 34 34
www.brgm.fr