



TECHNIQUES
DE L'INGÉNIEUR

Réf. : **J2782 V1**

Date de publication :
10 septembre 1990

Extraction solide-liquide. Techniques et appareillage

Cet article est issu de : **Archives**

par **Jean LEYBROS, Pierre FRÉMEAUX**

Pour toute question :
Service Relation clientèle
Techniques de l'Ingénieur
Immeuble Pleyad 1
39, boulevard Ornano
93288 Saint-Denis Cedex

Par mail :
infos.clients@teching.com
Par téléphone :
00 33 (0)1 53 35 20 20

Document téléchargé le : **30/05/2021**

Pour le compte : **7200034507 - universite de lille // 194.254.129.28**

© Techniques de l'Ingénieur | tous droits réservés

Extraction solide-liquide

II. Techniques et appareillage

par **Jean LEYBROS**

*Ingénieur ESCOM (École Supérieure de Chimie Organique et Minérale)
Responsable d'Essais au Centre d'Études Nucléaires de Marcoule (CEN-VALRHO)*

et **Pierre FRÉMEAUX**

*Ingénieur ESCIL (École Supérieure de Chimie Industrielle de Lyon)
Docteur en Physique Nucléaire
Directeur de la Succursale française d'Otto York N.V.*

1. Techniques générales	J 2782 - 1
2. Extraction sans appareil	— 2
3. Extraction dans des appareils	— 3
3,1 Première génération d'appareils	— 3
3,2 Extracteurs à lit fixe ou immobile	— 3
3,3 Extracteurs à lit mobile	— 5
3,31 Extracteurs à compartiments mobiles	— 5
3,32 Extracteurs à paniers mobiles	— 5
3,33 Extracteurs à chaîne de convoyage	— 6
3,34 Extracteurs à bande transporteuse	— 8
3,4 Extracteurs à immersion	— 8
3,5 Extracteurs à agitation, à charges dispersées ou en suspension	— 9
3,51 Extracteurs à simple agitateur	— 9
3,52 Extracteurs à agitateurs multiples et à charge dispersée ou en suspension	— 10
3,6 Tableau récapitulatif des appareils industriels	— 13
Documentation	— 13

1. TECHNIQUES GÉNÉRALES

La diversité des matières premières traitées en extraction solide-liquide se traduit par l'emploi de techniques très variées.

Les trois grandes méthodes d'extraction, étage unique, cocourant et contre-courant, ont été évoquées dans le fascicule J 2 780.

D'autres considérations interviennent dans la technologie mise en œuvre : on distingue les processus **continus** ou **discontinus**, avec la phase solide en lits fixe, mobile ou dispersé, décrits ci-après.

● Les **opérations discontinues** consistent à mettre en présence une quantité de solide (*charge*) et de solvant, puis à séparer, après un temps de contact déterminé, les solides épuisés (*inerte*) de la solution. Cette opération peut être effectuée en un étage ou en étages multiples. Un tel processus est généralement utilisé au laboratoire ou industriellement pour de faibles quantités de matière à traiter.

● Les **opérations continues** constituent l'essentiel des procédés mis en œuvre industriellement pour traiter de gros tonnages de matières premières. Elles sont caractérisées par un cheminement ininterrompu du solide et du solvant. Le processus à **contre-courant** est largement utilisé en raison de l'économie de solvant qu'il induit.

● L'**extraction en lit fixe** consiste à traiter par le solvant une couche de solide plus ou moins épaisse, entassée dans un récipient. Elle est utilisée uniquement dans les opérations *par charge*, continues ou discontinues, avec des particules de grosses à moyennes dimensions ($> 100 \mu\text{m}$) et où la vitesse d'extraction du soluté est grande.

Selon le lieu d'arrivée du solvant, on distingue encore :

– la **percolation**, ou **arrosage**, qui procède par passage du solvant à travers le lit de solide, l'alimentation ayant lieu dans la partie supérieure et le drainage dans la partie inférieure.

– l'**immersion**, ou **diffusion**, qui réalise le noyage complet du lit dans le liquide introduit généralement à la partie inférieure et sortant par simple débordement à la partie supérieure ; une agitation du lit est possible dans ce cas.

● L'**extraction en lit mobile** procède par déplacement du lit de solide, contenu dans un appareil animé d'un mouvement lent, que l'on arrose avec le solvant. Elle est proche, dans ses principes, de la percolation, car le lit conserve la même compacité sur toute la longueur de l'appareil.

● L'**extraction en suspension**, ou **par agitation**, ou à **charge dispersée**, consiste en la mise en mouvement des solides dans le liquide par action mécanique dans des appareils mélangeurs. Cette technique est applicable pour les opérations continues ou discontinues mettant en jeu des particules de toutes tailles pour lesquelles la vitesse d'extraction est lente. Elle s'applique bien au cas d'extractions continues à grande échelle de fines particules (*lixiviation des minerais*). Des applications en phytochimie et en parfumerie, sur des quantités de matières premières limitées, sont en cours de développement.

Les combinaisons de ces divers modes opératoires conduisent à la conception des techniques et des appareillages décrits ci-après. Pour les constructeurs, se reporter à la Documentation en fin d'article.

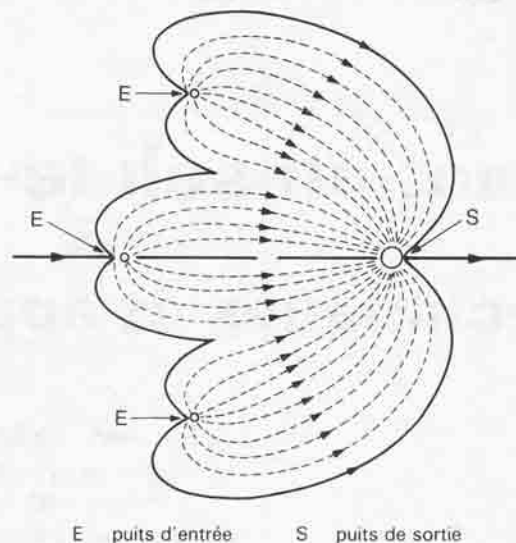
2. EXTRACTION SANS APPAREIL

Elle est pratiquée directement sur le lieu de production sur des matières premières très riches en soluté, facile à extraire par dissolution dans l'eau, ou sur des minerais pauvres pour lesquels les frais d'extraction dans un appareillage adapté seraient trop élevés.

2,1 Extraction directe dans le gisement.

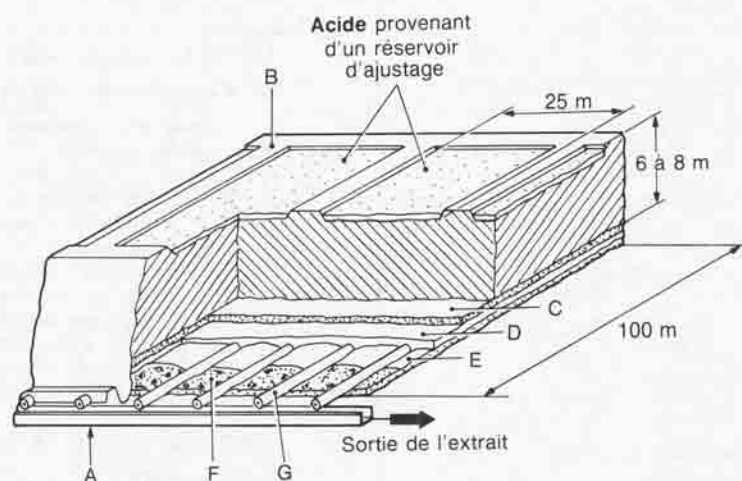
L'**extraction des sels** dans certaines mines (potasse en Lorraine) est faite directement par introduction d'eau dans le gisement au moyen de sondes et par dissolution du sel in situ.

On peut citer, comme autre exemple, l'extraction de l'**uranium** utilisée dans la mine de Shirley Basin aux États-Unis [2] : un écoulement d'eau souterrain, dans lequel est injecté de l'acide sulfurique par une série de puits, sert de vecteur naturel pour la solution (fig. 1).



la flèche horizontale indique la direction générale de l'écoulement naturel

Fig. 1. – Extraction in situ : vue du dessus de la mine d'uranium de Shirley Basin (États-Unis).



- A auget de récupération
- B bordures de rétention
- C déchets rocheux
- D couverture de graviers fins
- E feuilard de polyéthylène
- F sol préparé
- G buse perforée (drainage)

Fig. 2. – Lixiviation en tas.

Une telle méthode requiert plusieurs conditions :

- le gisement doit être horizontal et positionné sur une couche géologique imperméable ;
- la vitesse et la direction de l'écoulement naturel doivent être bien déterminées ;
- le minerai du gisement doit être compatible avec le procédé de dissolution ;
- le gisement doit être de taille et de richesse suffisantes pour justifier le coût de l'opération.

2,2 Extraction en tas.

L'extraction **par percolation de solvant** à travers un tas de matière à extraire (*Heap leaching*) est mise en œuvre directement sur les lieux de production du solide (fig. 2).

L'opération est utilisée pour l'extraction du **cuivre** de certaines pyrites cuivreuses à faibles teneurs en cuivre, pour lesquelles la fragmentation et l'extraction dans des appareils seraient trop onéreuses.

Cette technique a également été utilisée pour des minerais d'uranium.

3. EXTRACTION DANS DES APPAREILS

3,1 PREMIÈRE GÉNÉRATION D'APPAREILS

Un grand nombre d'extracteurs continus cités dans la littérature sont maintenant démodés ou peu utilisés. On retiendra *pour mémoire* :

- l'**extracteur à vis Hildebrand** [3] utilisé avec succès pour l'extraction d'huile du soja, mais fonctionnant très mal avec la graine de coton ;

- des appareils de type colonne tels que l'**extracteur Allis-Chalmers** [5] qui a été utilisé pour l'extraction de l'auréomycine à partir d'un gâteau de filtration de mycellium, et l'**extracteur Bonotto** [1] : par leurs principes, ces appareils conduisent à un contact solide-liquide de qualité médiocre, à l'obtention difficile d'un *miscella* (cf. J 2 780 § 1) clair et à un mélange axial important dû aux différences de densité des solutions sur la hauteur de la colonne ;

- l'**extracteur Kennedy**, utilisé pour l'extraction d'huile des graines de coton et de cacao et, à l'échelle pilote, pour l'extraction d'huile du soja [6].

3,2 EXTRACTEURS À LIT FIXE OU IMMOBILE

Dans cette catégorie, les appareils les plus simples sont constitués par des récipients ouverts ou fermés munis en leur base d'un dispositif d'égouttage supportant le lit de solide (tôle perforée, toile métallique, barres transversales). Des orifices sont prévus pour l'arrivée du solvant, la sortie de la solution, le chargement et le déchargement du solide. Ils ne sont employés que dans les cas où l'extraction est facile et selon la méthode à **étage unique** ou à **étages multiples**.

3,21 Extracteurs ouverts.

Ces appareils rudimentaires (fig. 3) sont employés pour l'extraction à l'eau et à basses températures de produits grossièrement fragmentés (minerais, tanins, nitrate du Chili). L'extraction peut avoir lieu **par percolation** (analogue à l'extraction en tas) ou **par immersion complète**.

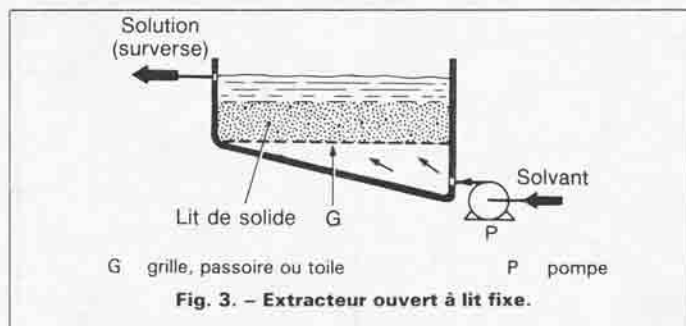


Fig. 3. – Extracteur ouvert à lit fixe.

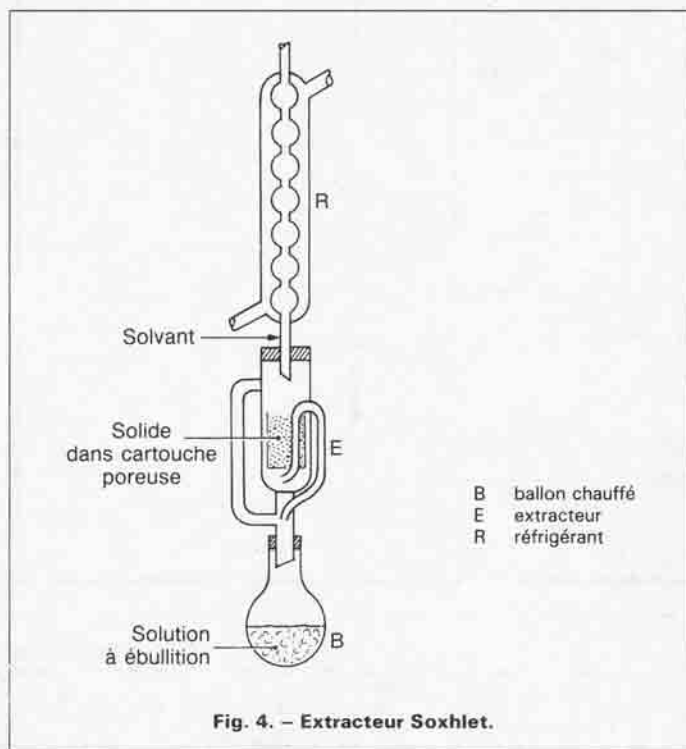


Fig. 4. – Extracteur Soxhlet.

3,22 Extracteurs fermés.

Les extracteurs fermés à lit fixe permettent le traitement de solides de toutes tailles, avec des solvants chauds en phase liquide ou partiellement vaporisés, sous pression ou non.

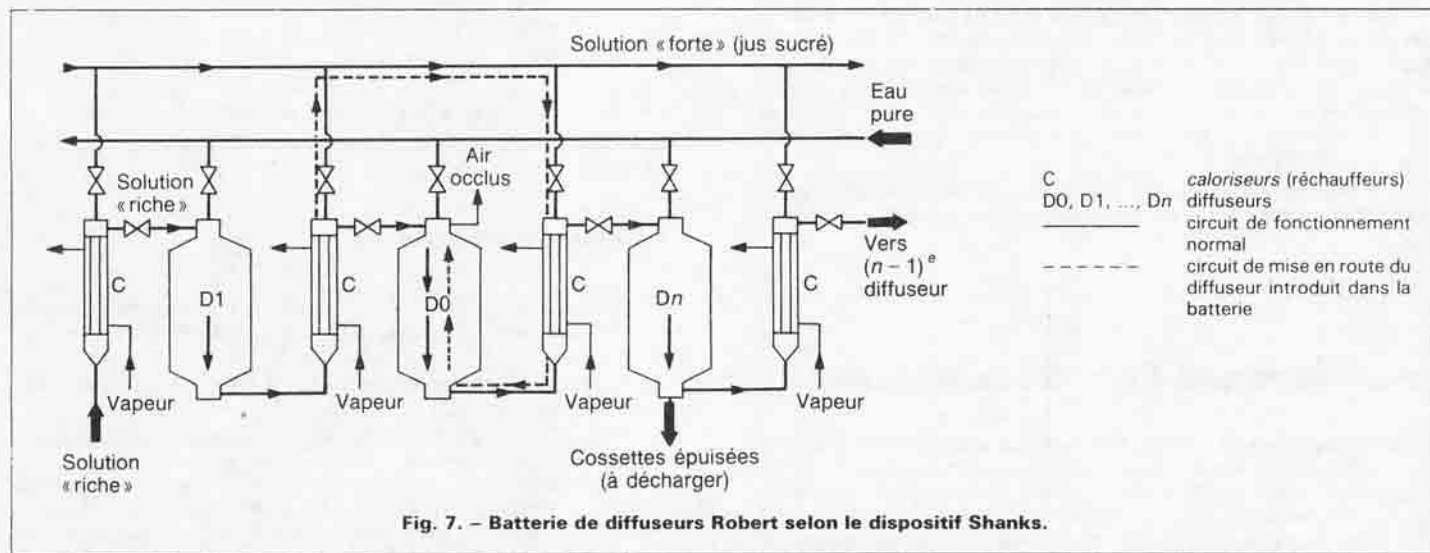
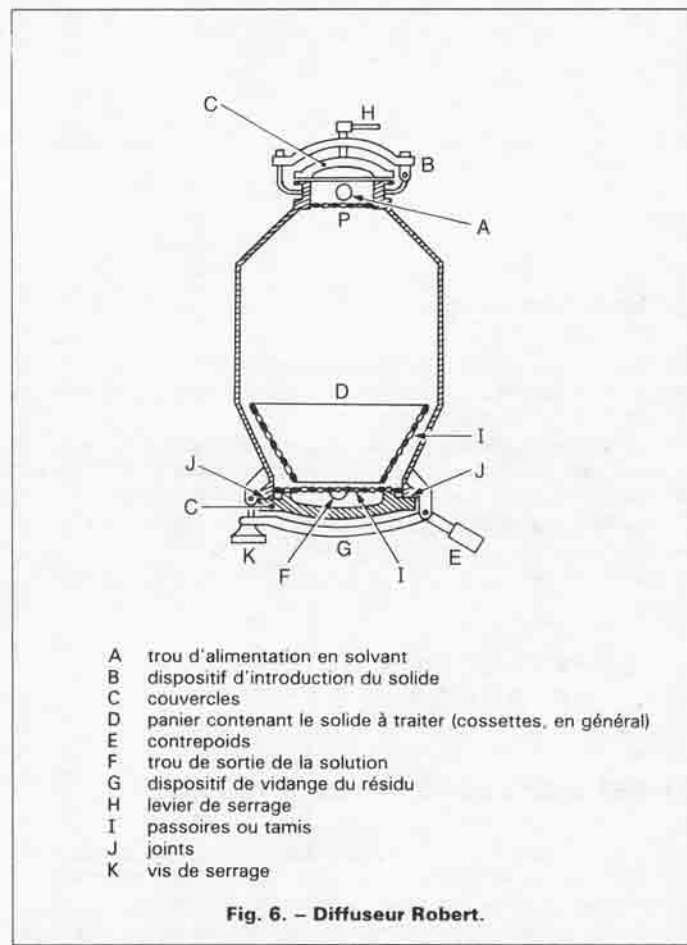
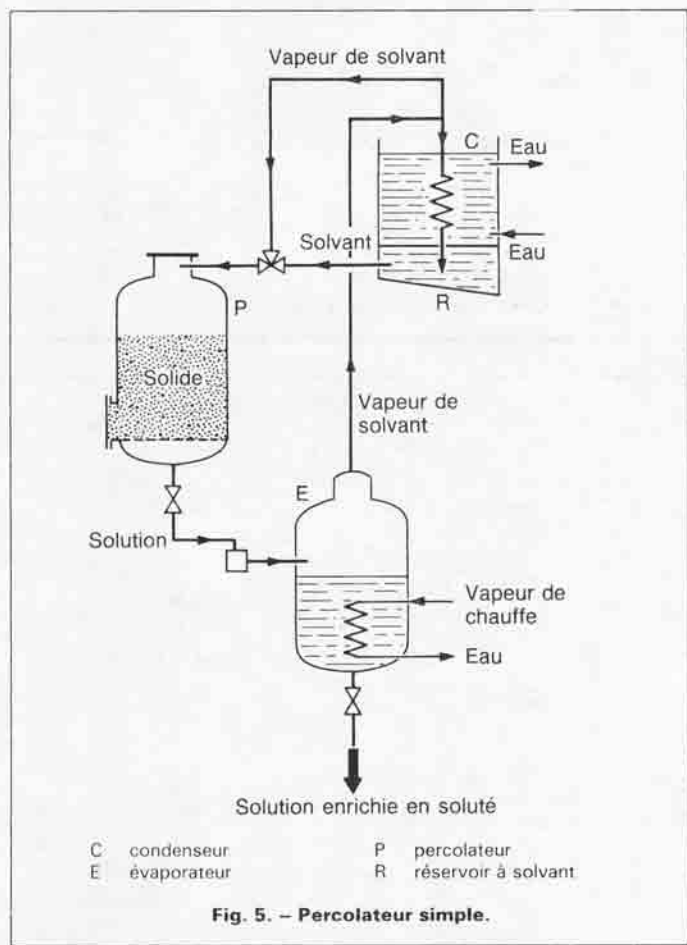
Les **appareils de laboratoire** de type Soxhlet (fig. 4) ou Kumagawa sont les plus simples.

Le corps de l'extracteur, contenant une cartouche remplie de solide, est fixé à la partie supérieure (Soxhlet) ou à l'intérieur (Kumagawa) d'un réservoir de solvant et est surmonté d'un réfrigérant. Le solvant est vaporisé puis condensé, et traverse le lit de solide par percolation pour donner une solution qui est soutirée périodiquement par l'amorçage d'un siphon. La solution du ballon s'enrichit petit à petit en soluté et le solide est toujours mis en contact avec du solvant fraîchement distillé.

Ces extracteurs sont transposables industriellement (fig. 5, p. 4).

Le **diffuseur Robert** (fig. 6, p. 4), utilisé pour l'extraction à chaud du sucre de betterave, des tanins et de certains produits pharmaceutiques, est l'appareil type de ce mode de contact [7, 8].

Dans un **montage en batterie** (jusqu'à 15 à 16 éléments), tel le **dispositif Shanks**, à chaque diffuseur est adjoind (en sucrerie particulièrement) un préchauffeur utilisé pour le chauffage du solvant au moyen de la vapeur issue des évaporateurs de concentration (fig. 7, p. 4).



Le dernier étage, ou diffuseur D_n , contient des cossettes très épuisées sur lesquelles on envoie de l'eau pure, et le 1^{er} étage (diffuseur D_1) renferme des cossettes très peu épuisées en début d'extraction, sur lesquelles percole une solution riche en soluté venant de l'étage suivant; la solution « forte » obtenue est le jus sucré qui est traité ultérieurement en vue d'en extraire le sucre.

La mise en circuit d'un diffuseur contenant une charge fraîche (diffuseur D_0) se fait ainsi. La solution « riche » s'écoulant à la base du diffuseur D_1 après percolation passe dans le *caloriseur* qui le suit, de bas en

haut, puis dans le *caloriseur* du diffuseur D_0 (à charge fraîche), de haut en bas et, dans ce dernier diffuseur, de bas en haut (circuit en tireté sur la figure). Ce procédé d'immersion complète par du solvant chaud est préférable à la percolation, car il permet l'élimination par une soupape, à la partie supérieure, de l'air occlus dans les cossettes. Naturellement, dès que l'air est éliminé (ce que l'on distingue par l'apparition du liquide dans la soupape), on rétablit dans le diffuseur le sens habituel du solvant qui produit la percolation (circuit en trait plein de la figure). A partir de ce moment, le diffuseur D_0 est en extraction par percolation et devient le

1^{er} étage de l'opération nouvelle. La solution « forte » (jus sucré) est alors recueillie et est traitée en vue de la récupération du sucre.

Quant au diffuseur D_n , qui contient des cossettes épuisées ou tourteaux, il est mis hors service et la charge est éliminée du diffuseur. Celui-ci est chargé à nouveau de cossettes fraîches en vue de sa réintroduction dans le système.

3,3 EXTRACTEURS À LIT MOBILE

Ces appareils automatiques sont généralement constitués par un système de convoyage entraîné mécaniquement, supportant les charges de solide, afin de pouvoir réaliser une **extraction continue à étages multiples**. Leur construction impose l'emploi d'une machinerie perfectionnée pour automatiser le mouvement des solides et des liquides.

Les extracteurs à **compartiments** et à **paniers mobiles** sont parmi les plus utilisés.

En raison de leur relative fragilité, les flocons de graines oléagineuses, par exemple, ne peuvent pas subir de contraintes mécaniques sans se briser, ce qui conduit à la formation de *fines* (particules inférieures à 100 μm) et à une forte réduction de la porosité du lit. La méthode de transfert doit donc être la plus douce possible pour limiter cet inconvénient.

3,31 Extracteurs à compartiments mobiles.

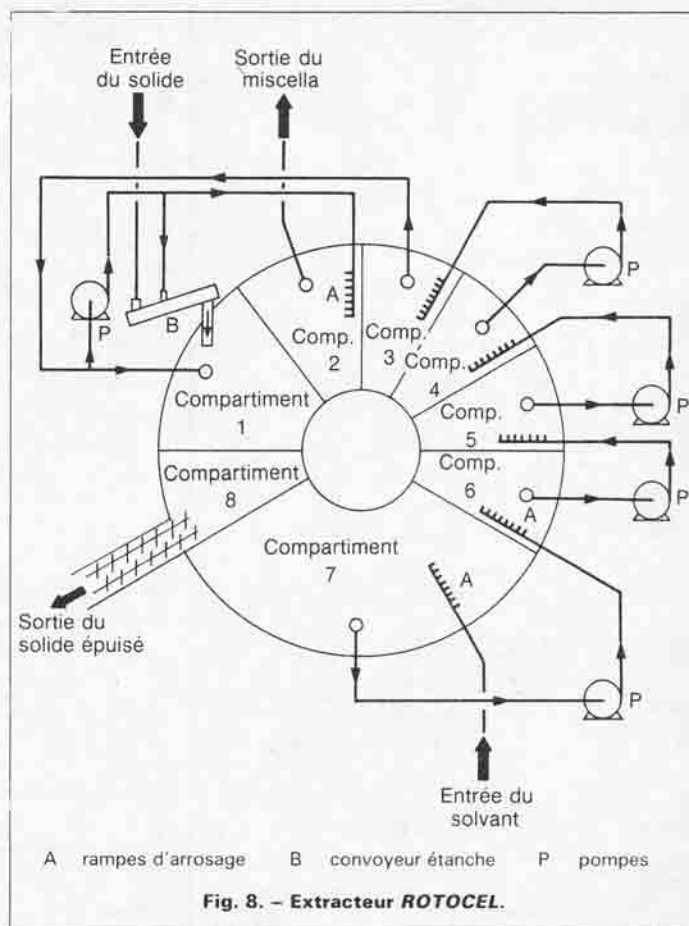
• Dans l'**extracteur à cellules** ou à **paniers rotatifs ROTOCEL** (constructeurs: EMI et Dravo), les flocons restent immobiles une fois déposés dans les cellules et ne sont pas soumis à l'attrition [3, 7, 10]. Cet extracteur est constitué (fig. 8) d'un cylindre mobile bas (rotor) divisé en cellules ou compartiments radiaux (jusqu'à 18, dont 16 au plus sont utilisables pour l'extraction, les autres secteurs servant à l'égouttage), munis à la base d'un tamis suspendu ou d'un fond perforé (destiné à contenir le solide) qui peut s'escamoter pour le déchargement.

Le cylindre tourne d'un mouvement lent (1 tr en 40 min) sur un socle partagé en secteurs de drainage ou de réception, d'angles inégaux, destinés à recueillir les solutions de percolation des différentes charges. L'ensemble est incorporé dans un carter étanche aux vapeurs de solvant, permettant le fonctionnement à chaud.

Chaque cellule passe sous un distributeur de solide assurant son chargement et sous une série de rampes d'amenée du solvant frais et des solutions venant des secteurs précédents. La différence de surface entre les cellules d'extraction et les secteurs de réception permet un épuisement plus ou moins grand des charges.

• Dans l'**extracteur CARROUSEL** (constructeur: EGA), proche du ROTOCEL, les cellules tournent au-dessus d'un tamis fixe et le solide épuisé tombe au fond de l'appareil en passant devant un secteur sans tamis.

Les unités de grandes capacités comportent deux étages de cellules. Le solide partiellement épuisé passe de l'étage supérieur à l'étage inférieur où il poursuit son traitement. Les réservoirs à solvant et à miscella et les pompes de transfert sont disposés de façon que la solution circule à contre-courant avec le solide dans les deux étages.



• L'**extracteur à compartiments fixes French** (constructeurs: French Oil Mill Machinery et, sous licence, Speichim) applique le même principe que l'extracteur ROTOCEL, à la différence près que ce sont les cellules qui sont fixes et le système de chargement et de déchargement qui pivote. Il comporte 12 à 20 cellules mais, comme le ROTOCEL, seulement 5 boucles d'arrosage par pompe.

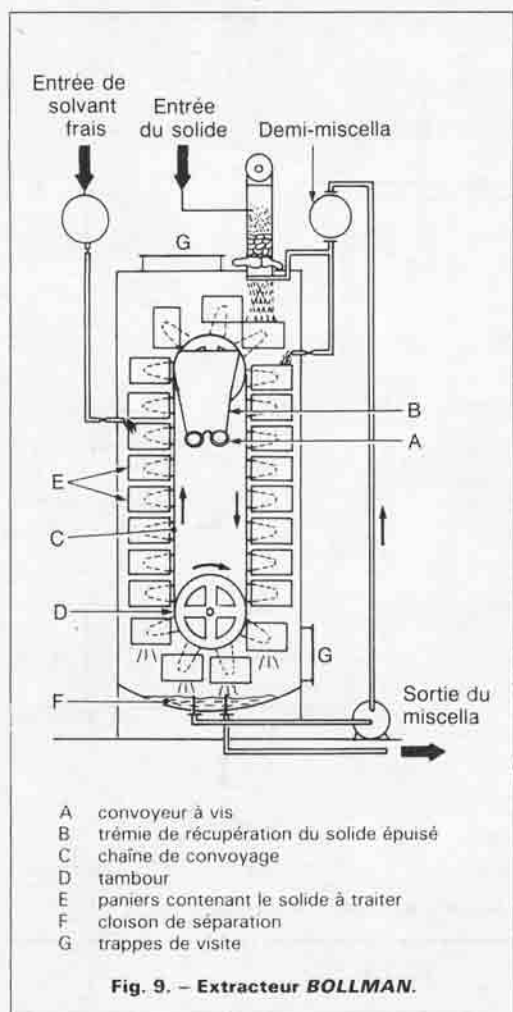
Ces trois modèles d'extracteurs permettent d'obtenir un excellent effet de clarification du miscella grâce à leur épaisseur de lit.

3,32 Extracteurs à paniers mobiles.

• L'**extracteur à paniers mobiles BOLLMAN** développé par Hansa-Mühle (constructeurs: Lurgi et French Oil Mill Machinery) est un dispositif imité de la chaîne à godets [11].

Il est constitué par une série de paniers à fond perforé (30 et plus), contenant le solide à traiter, qui se déplacent d'un mouvement vertical descendant puis ascendant au moyen d'une chaîne sans fin (longueur de 15 à 21 m). Les paniers sont chargés automatiquement à la partie supérieure puis, en descendant, sont arrosés par une solution semi-concentrée (**demi-miscella**) qui percole à travers toute la série de charges verticales descendantes. La solution recueillie à la base constitue la solution **forte (miscella)**. L'extraction de ce côté de l'appareil s'effectue à cocourant (fig. 9, p. 6).

Les paniers contenant le solide partiellement extrait remontent et sont arrosés, à contre-courant, par le solvant frais alimenté au voisinage du sommet de l'appareil. Le solvant recueilli en pied dans cette zone constitue le **demi-miscella**. Le solide épuisé est déchargé par basculement des paniers et est évacué à l'aide d'une goulotte.



• Les **extracteurs horizontaux** (fig. 10) [12] sont actuellement préférés et ont supplantés l'extracteur **BOLLMAN**.

Une grande variété de dispositifs de paniers, d'égouttage et de circulation des solutions est rencontrée dans ces extracteurs. Leurs constructeurs sont Lurgi, Fratelli Gianazza, HLS, French Oil Mill Machinery et Costruzioni Meccaniche Bernardini.

• Dans l'**appareil Bernardini** (constructeur : Costruzioni Meccaniche Bernardini), les paniers circulent sur une boucle en double épingle formant quatre cheminements horizontaux (fig. 11) [13].

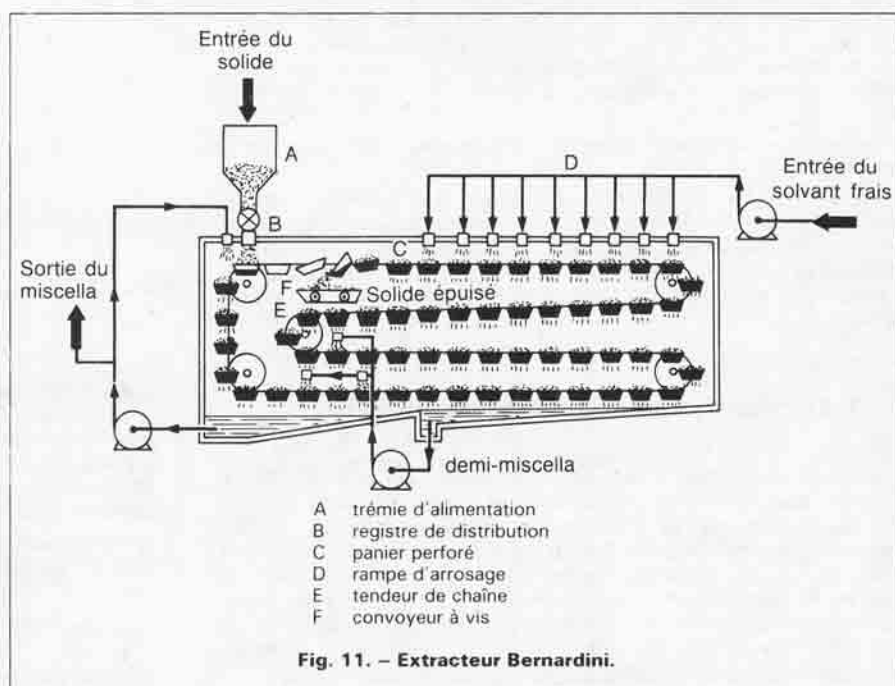
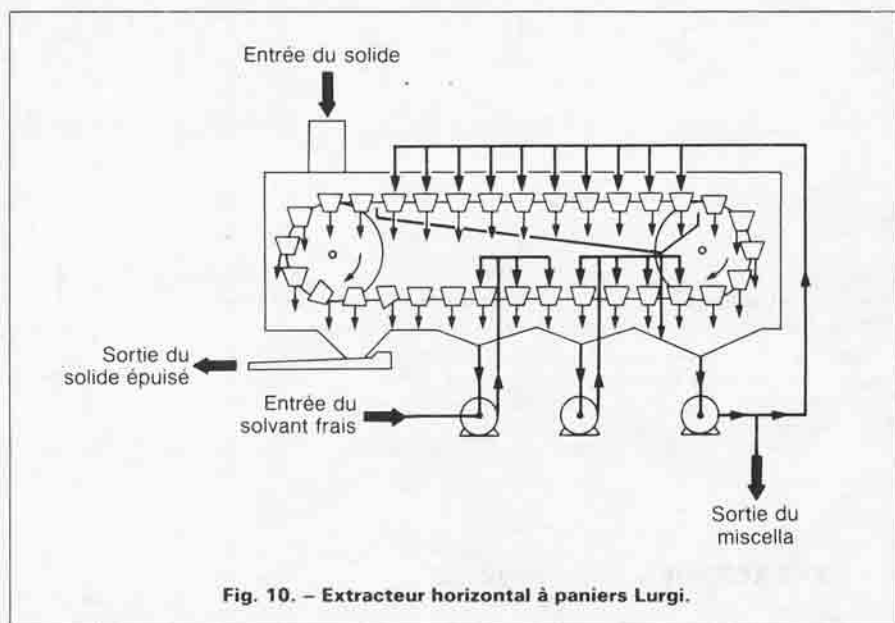
Les solutions d'égouttage issues du cheminement supérieur percolent à travers les paniers des trois cheminements inférieurs.

L'extracteur ne comporte que trois pompes :

- pompe d'alimentation en solvant frais,
- pompe de soutirage du miscella alimentée par une bache de réception placée au niveau de l'entrée des solides dans l'appareil,
- pompe de circulation du demi-miscella alimentée par la bache de réception occupant les deux tiers du fond de l'extracteur.

Associé à l'extracteur à immersion (cf. § 3,4) du même constructeur, il constitue le **procédé DIREX** (fig. 12) d'extraction directe de l'huile des graines oléagineuses à haute teneur (sans expression mécanique préalable de l'huile) dont les séquences de traitement sont les suivantes :

- extraction partielle des graines décortiquées (jusqu'à 10 à 15 % d'huile résiduelle) dans l'extracteur à percolation,



- *floconnage humide* dans un aplatisseur spécialement adapté,
- extraction finale dans l'extracteur à immersion,
- *désolvantisation* du solide épuisé (*tourteaux*).

3,33 Extracteurs à chaîne de convoyage.

• Les modèles types appliquant ce principe sont les **extracteurs Crown et BMA** (constructeurs : Crown Iron Works et Braunschweigische Maschinenbauanstalt respectivement). Le solide circule dans une boucle fermée au moyen d'une chaîne de convoyage placée à l'intérieur d'un carter étanche (fig. 13) [14].

Cette boucle comporte deux longs tronçons horizontaux, le tronçon supérieur étant légèrement incliné, et deux éléments de raccordement semi-circulaires courts.

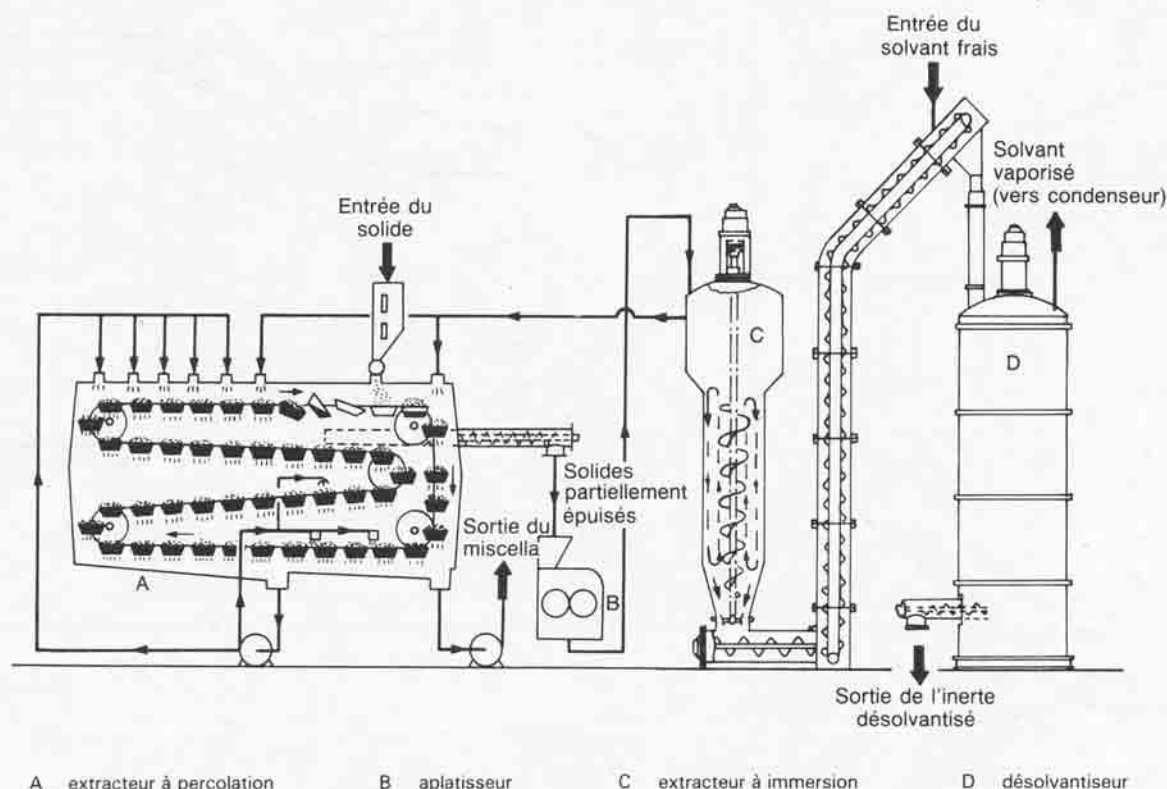


Fig. 12. - Schéma de principe du procédé DIREX (Bernardini).

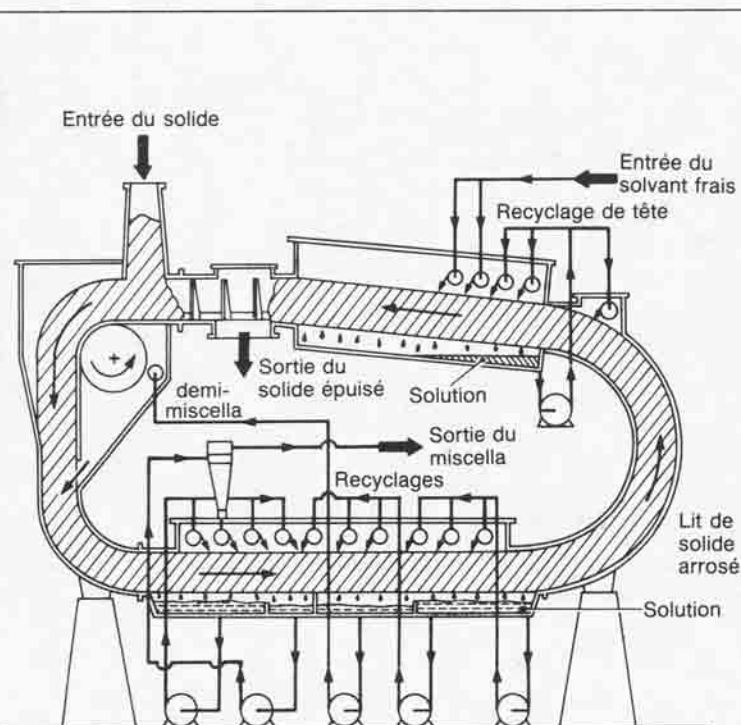


Fig. 13. - Extracteur Crown.

Les fonds des parties horizontales sont constitués par un tamis permettant la récolte des solutions. Le solide est introduit au sommet de la partie descendante et est arrosé par un demi-miscella récolté au milieu de la partie horizontale inférieure. Le miscella est recueilli à l'entrée de cette ligne et évacué hors de l'appareil.

Les solutions peu chargées, récupérées à l'extrémité de sortie du tronçon horizontal inférieur, sont recyclées sur le lit de solide.

Après avoir traversé la partie ascendante, le solide est arrosé tout d'abord par une solution recyclée peu chargée puis par le solvant d'alimentation.

Le dernier secteur du tronçon horizontal supérieur assure la fonction d'égouttage du solide avant son passage devant la trémie de déchargement.

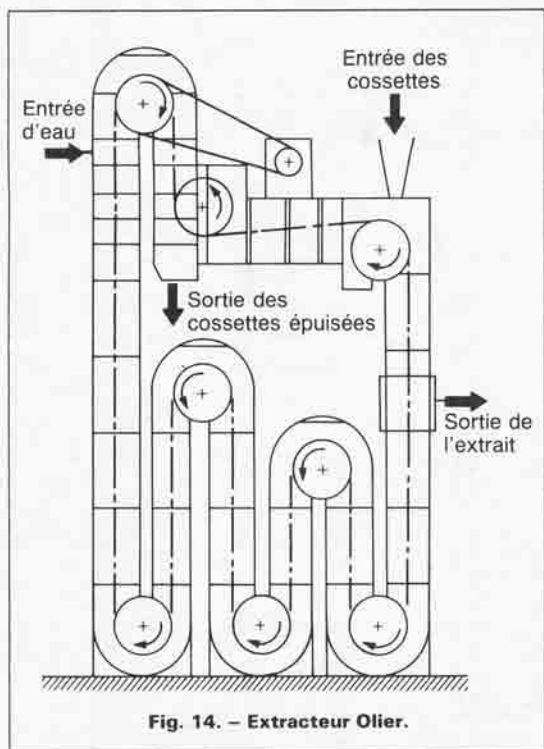
La circulation des solutions est réalisée à contre-courant au moyen de six boucles de pompage. Le solide n'est jamais totalement recouvert par le solvant dans les secteurs horizontaux mais, malgré ce défaut, l'efficacité de l'extracteur est bonne.

Des unités de petites tailles peuvent être réalisées et permettent un fonctionnement à l'échelle du pilote ou de l'atelier de recherche et développement.

Ce type d'appareil est aussi utilisé pour le traitement des betteraves sucrières, tel l'extracteur Olier [8] dont la chaîne est constituée par des secteurs perforés, de section circulaire ou elliptique, circulant dans une série de boucles en U (fig. 14, p. 8).

Les sommets de chaque boucle sont à des hauteurs décroissantes dans la direction du flux des solutions. Cette différence d'élévation totale (de l'ordre de 10 m) conduit à une charge hydrostatique suffisante pour que la solution circule gravitairement à contre-courant du solide.

Analogue à l'extracteur Olier, on citera l'extracteur à chaîne Silver, qui utilise jusqu'à 21 boucles verticales fonctionnant



à cocourant. L'extract est récupéré au sommet de chaque boucle et alimente la boucle suivante dans le sens du contre-courant, ce qui permet de considérer globalement cet extracteur comme un appareil à contre-courant.

• L'extracteur **SATURNE** mis au point par la Société des Sucreries de l'Atlantique est utilisé à l'extraction du sucre à partir de canne à sucre prépressée (bagasse). Son mode de fonctionnement est analogue à celui de l'extracteur Olier, excepté pour les secteurs, qui sont liés à un anneau vertical mobile (fig. 15) [15].

Un extracteur similaire est appliqué à l'extraction du sucre des cossettes de betteraves [16].

Il peut traiter plus de 1 000 t de canne à sucre par jour, avec un temps de séjour du liquide de l'ordre de 30 min. Ses dimensions sont en général de 12 m de diamètre, 13 m de longueur, 13 m de hauteur.

3,34 Extracteurs à bande transporteuse.

L'extracteur à bande transporteuse perforée **De Smet** est très utilisé à la fois pour l'extraction du sucre de canne ou de betterave et pour l'extraction de l'huile des graines oléagineuses (fig. 16) [8, 15, 17].

Les solides sont distribués en continu sur une bande transporteuse perforée. Les solutions percolent à travers le lit, sont récupérées dans des bâches, puis reprises par la pompe pour alimenter la section suivante du lit à l'aide de distributeurs à rampe d'arrosage, à contre-courant du déplacement du solide.

De 15 à 20 boucles d'arrosage sont mises en œuvre sur la longueur de l'appareil. Dans certains cas, les secteurs de la bande sont différenciés afin de prévenir le mélange en retour des solutions.

3,4 EXTRACTEURS À IMMERSION

Ce type d'extracteur présente l'avantage d'être peu ou moins sensible aux conditions de préparation du solide que les appareils précé-

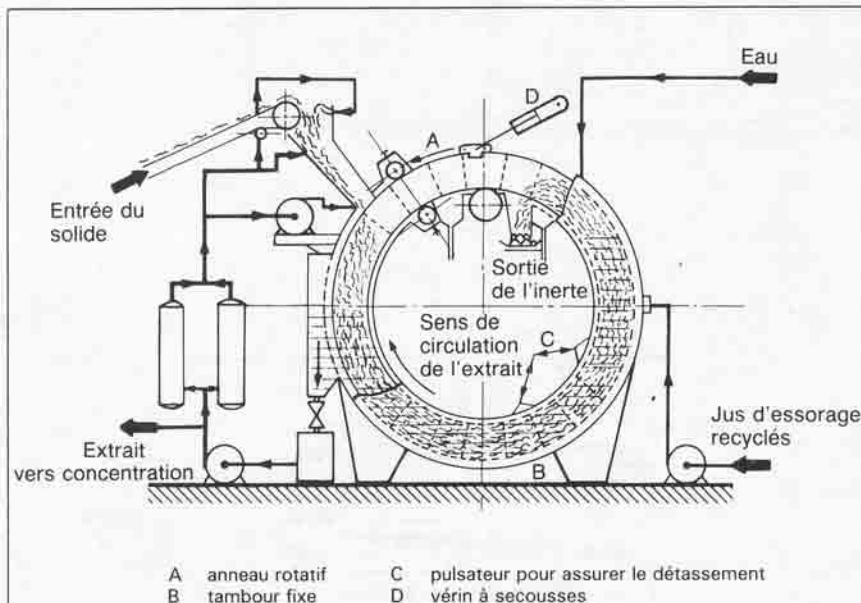


Fig. 15. - Extracteur **SATURNE**.

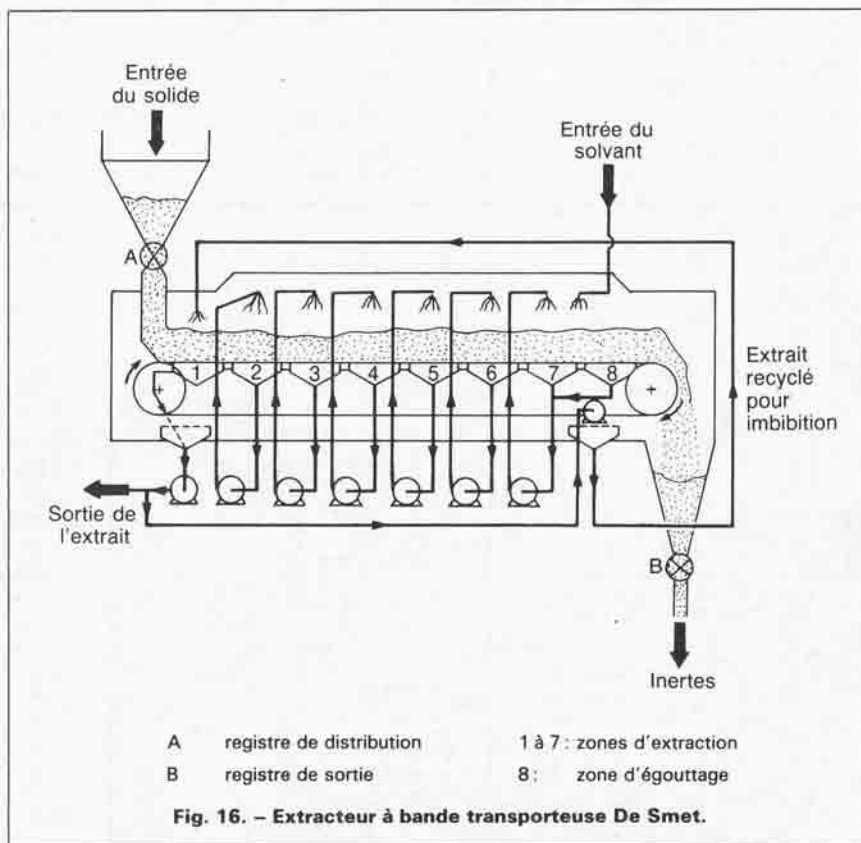


Fig. 16. - Extracteur à bande transporteuse **De Smet**.

dents. Il permet l'extraction de charges contenant beaucoup de fines, que les appareils à percolation auraient des difficultés à traiter (à cause de la perméabilité du lit).

L'avantage de l'autofiltration de l'extract par le lit n'existant plus, le rapport des masses liquide/solide doit être adapté pour réduire l'entraînement de particules fines dans l'extract et pour réduire la charge des appareils de clarification en aval.

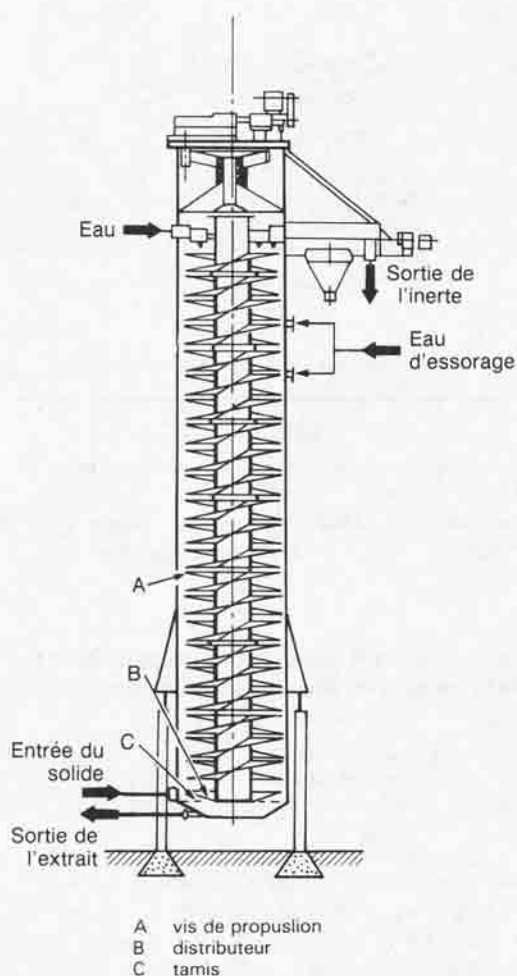


Fig. 17. - Extracteur BMA.

● L'extracteur DDS à double vis de convoyage (constructeurs : Danske Sukkerfabrikker, Silver Engineering et Niro Atomizer) est l'un des appareils polyvalents les plus utilisés [4].

Son carter en pente, 7 à 11° selon la taille du solide, permet la circulation gravitaire du solvant à contre-courant du solide. Le solide progresse dans l'extracteur à l'aide d'un convoyeur à deux vis parallèles.

Les vis tournent en sens inverse, mais leurs pas opposés assurent l'avancement du solide vers la partie haute de l'extracteur. Elles sont de type ouvert pour permettre l'écoulement des solutions à travers les différentes sections.

Une très grande variété de produits peut être traitée dans ce type d'appareil ; il est moins adapté, cependant, à l'extraction de l'huile des graines oléagineuses floconnées, car le système de propulsion a tendance à désagréger les flocons.

De même les solides trop finement divisés ne peuvent pas être traités car la pente de l'appareil deviendrait trop importante.

● L'extracteur rotatif TIRLEMONT développé par la Raffinerie Tirlemontoise (licences : Silver Engineering, ABR Engineering, Fives Cail Babcock, Fletcher & Stewart, Craig et Regianne) est utilisé pour l'extraction du sucre de betterave.

C'est un cylindre horizontal tournant sur des galets [4, 8]. Il est équipé d'une spirale évidée au centre qui agit comme une vis d'Archimède pour faire progresser la solution à travers l'extracteur. Un baffle perforé, placé en travers du cylindre, capte et hisse les cossettes en laissant la solution s'égoutter au travers des perforations, puis les relâche, en position verticale, dans le compartiment suivant à contre-courant de la solution. Il comporte 27 compartiments et pivote à la vitesse de 18 à 27 tr/h.

La spirale est une double hélice qui déplace la solution deux fois plus vite que le solide ; ainsi, le temps de séjour de l'extract est deux fois moins long que celui du solide.

Il permet le traitement d'une grande variété de cossettes en terme d'épaisseur et de qualité, mais présente l'inconvénient d'un investissement lourd en raison de sa complexité de construction.

● Les extracteurs Buckau-Wolf, BMA (constructeur : Braunschweigische Maschinenbauanstalt) et Silver, utilisés pour l'extraction du sucre de betterave, sont des appareils verticaux à vis convoyeuse qui élève le solide à contre-courant de la solution descendante (fig. 17) [8].

La vis hélicoïdale est réalisée en plusieurs secteurs séparés par un espace équipé de baffles interdisant une rotation en masse du lit de solide.

Avant leur admission en suspension, au pied de l'appareil, les cossettes sont ébouillantées avec de l'extract dans une cuve connexe. Elles sont évacuées en tête au moyen de deux vis de transfert inclinées, puis elles sont pressées pour récupérer la solution adhérente qui est recyclée dans la tour à une hauteur correspondant à leur concentration.

La procédure de pressage et de recyclage de la liqueur récupérée dégrade légèrement la pureté de l'extract, ce qui conduit à des difficultés supplémentaires au niveau du raffinage, mais a l'avantage de réduire considérablement la quantité d'effluents à traiter avant rejet.

3,5 EXTRACTEURS À AGITATION, À CHARGES DISPERSÉES OU EN SUSPENSION

Les appareils de cette catégorie sont des mélangeurs dans lesquels le solide et le solvant sont mis en contact intime par agitation mécanique ou pneumatique. Ces appareils sont utilisés pour l'extraction de particules de toutes tailles en discontinu et en continu.

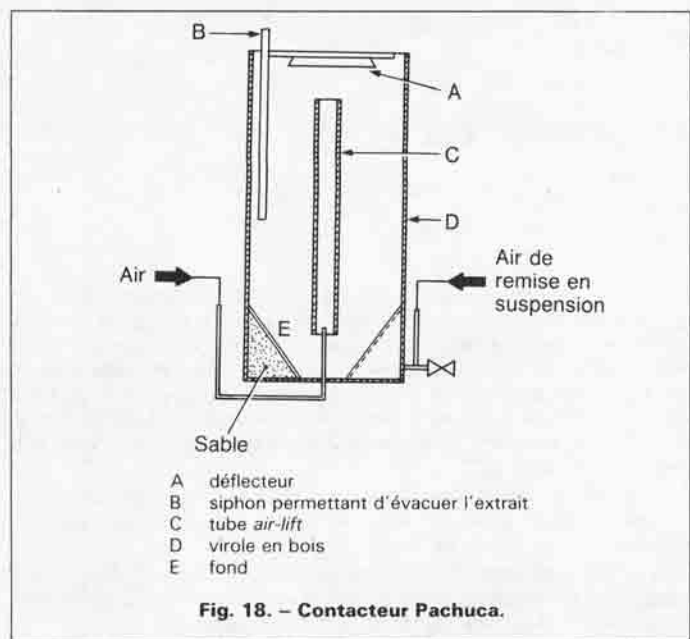
Sauf exception, les mélangeurs n'ont pour rôle que la mise en contact du solide ; il est donc nécessaire de leur adjoindre des dispositifs de séparation : décanteurs ou filtres.

3,51 Extracteurs à simple agitateur.

Ce sont des mélangeurs avec agitateur unique de différents types, qui constituent un étage d'extraction.

3,511 Mélangeurs à agitation mécanique.

Ils sont à axe vertical ou horizontal. Certains tels les décanteurs épaisseurs Dorr (constructeur : Dorr Oliver) sont utilisés pour obtenir une suspension concentrée de fines particules avant filtration (cf. articles spécialisés de la rubrique Séparation. Mélange du traité Génie industriel) ; dans ce cas, ce sont des auxiliaires de l'extraction solide-liquide. Ils sont groupés en batterie en fonctionnement continu.



3,512 Mélangeurs à agitation pneumatique.

Ils ont leur emploi dans l'extraction solide-liquide, notamment pour les fines particules (lixiviation de minerais).

L'appareil le plus simple de cette catégorie est le **contacteur Pachuca** (fig. 18) basé sur le principe de l'élévateur à émulsion (*air-lift*) [18].

La suspension est placée dans un récipient cylindro-conique contenant un cylindre plus petit à la base duquel débouche une arrivée d'air comprimé. L'émulsion créée dans ce tube conduit à une circulation de la suspension de solide. Des insufflateurs d'air placés dans la partie conique évitent la formation de zones mortes par décantation du solide.

Ces appareils fonctionnent en discontinu et, en fin d'extraction, l'insufflation d'air est arrêtée. Le solide épuisé décante et l'extrait surnageant est soutiré par siphonage ou grâce à un orifice latéral. Le solide inerte est ensuite remis en suspension et évacué sous cette forme.

3,513 Mélangeurs mixtes, à agitation mécanique et pneumatique.

Ils combinent les actions de ces deux systèmes d'agitation. Disposés en **batterie**, ils permettent l'**extraction en continu à étages multiples**.

L'appareil le plus représentatif est l'**extracteur Dorr** utilisé pour l'extraction et le lavage de fines particules (fig. 19).

L'appareil est constitué par un récipient cylindrique à fond plat, dans lequel est placé un agitateur mécanique équipé d'une série de bras à la partie supérieure et à la partie inférieure, décalés de 90°, dont l'arbre central sert d'**émulseur**.

Sur les bras inférieurs sont fixés des racloirs destinés à déplacer la suspension de la périphérie vers le centre et, sur les bras supérieurs, des ajutages sont répartis régulièrement, afin de déverser à la surface du liquide la suspension aspirée par l'émulseur dans la partie inférieure.

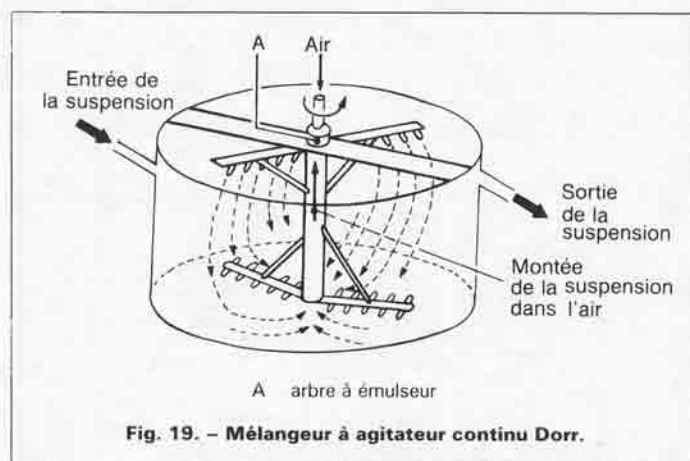
Une agitation axiale et radiale est ainsi obtenue.

Ce sont des appareils en continu dans lesquels la suspension arrive et sort à la partie supérieure par deux orifices diamétralement opposés.

3,514 Techniques d'emploi de ces extracteurs à simple agitateur.

• **En discontinu**, lorsque l'extraction est jugée suffisante, l'agitation est arrêtée et l'on sépare le liquide du solide par décantation.

• **En continu**, une suspension (*pulpe*) est alimentée sans interruption pendant qu'une quantité équivalente de celle-ci est éliminée. L'opé-



ration est généralement effectuée dans une **batterie** de plusieurs mélangeurs. On citera deux schémas classiques :

- l'extraction **avec décantation à contre-courant** (fig. 20),
- l'extraction **avec décantation, filtration et repulpage** (fig. 21).

3,52 Extracteurs à agitateurs multiples et à charge dispersée ou en suspension.

• Les extracteurs à agitateurs multiples sont des appareils en continu, formés d'une suite de mélangeurs disposés de manière à provoquer un contact et un cheminement du solide et du liquide à contre-courant.

De nombreux appareils appliquant ce principe sont obsolètes, tels les extracteurs Hildebrand, Bonotto ou Kennedy (cf. § 3,1).

Ce type d'appareils a été utilisé dans les cas suivants :

- extraction de petites quantités de produits ou de faibles capacités (colorants naturels, plantes pharmaceutiques) ;
- extraction directe de produits ayant une mauvaise tenue mécanique ou formant des *fines* en cours d'extraction ; l'agitation peut être adaptée pour limiter la dégradation du solide ;
- extraction en combinaison avec un extracteur à percolation dans les procédés à deux niveaux d'extraction (procédé *DIREX*) ;
- extraction du type *lavage* où il remplace avantageusement les batteries d'épaississeurs.

Les principaux avantages de ces appareils sont :

- la **simplicité de mise en œuvre** : ils sont peu ou moins sensibles aux conditions de préparation du solide que les appareils à percolation et sont capables de traiter des solides finement divisés qui pourraient colmater le lit des appareils à percolation ;
- la **souplesse d'utilisation** : le rapport massique solide/liquide n'est pas critique ; le débit de solvant doit être réglé pour prévenir l'entraînement des *fines* dans l'extrait ; ils peuvent s'accommoder d'une très large gamme de débits des produits et sont peu affectés par les variations de ces débits.

Leur principal inconvénient est l'absence d'autofiltration obtenue dans les appareils à percolation et qui impose l'utilisation d'un système de clarification de l'extrait en sortie d'appareil.

• L'**extracteur Bernardini** à immersion (fig. 22) [13] est un appareil dérivé des extracteurs Hildebrand et Olier.

L'extracteur est divisé en trois parties :

- la tête, qui constitue une zone de décantation où la matière à extraire est introduite par un système doseur ;
- la colonne équipée d'un agitateur à vis, qui assure un contact intime et homogène du solide et du liquide ;
- l'équipement d'évacuation du solide, constitué d'une vis sans fin qui conduit le solide au pied d'un élévateur à godets immergé.

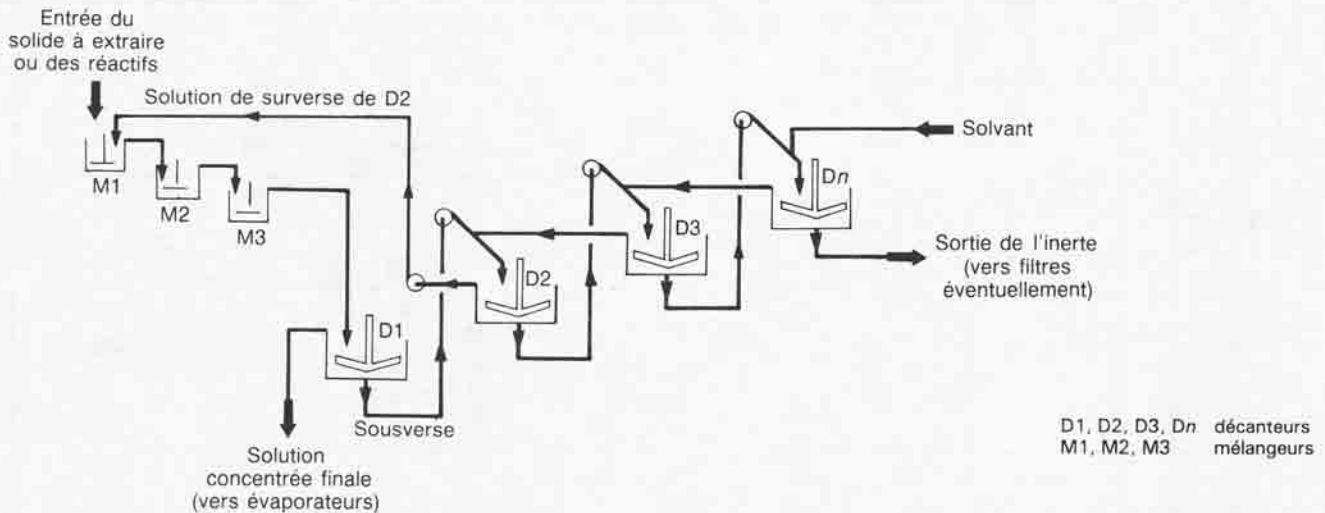


Fig. 20. - Extraction continue à contre-courant avec décantation.

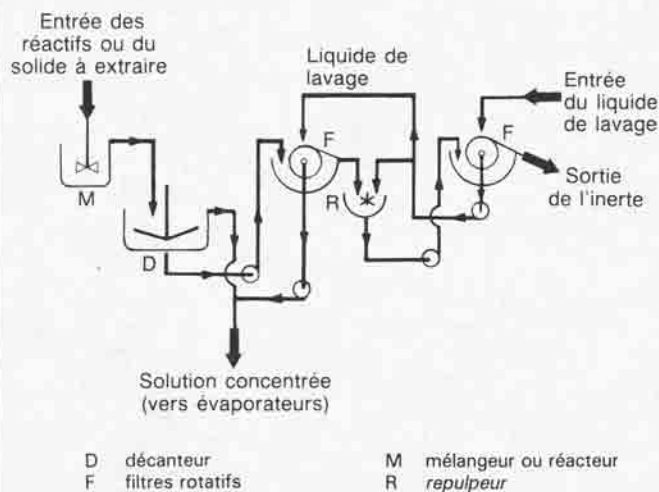


Fig. 21. - Extraction continue avec décantation, filtration et repulpage.

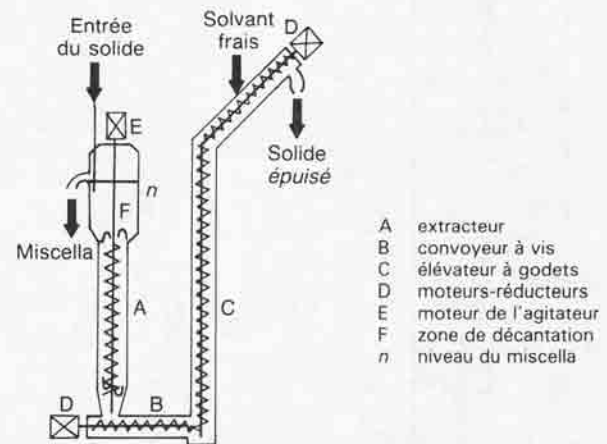


Fig. 22. - Extracteur à immersion Bernardini.

Le solvant est introduit en tête de l'élévateur à godets sous le secteur de déchargement de l'inerte et circule à contre-courant du solide. Le niveau de liquide est maintenu constant par une surverse naturelle placée dans la zone de décantation.

• La **colonne pulsée** (fig. 23) [19], développée et adaptée par le CEA (licence Otto H. York Co.), est une application particulière de ce type d'appareil couramment utilisé en extraction liquide-liquide.

Les solides sont introduits dans la tête de l'appareil qui constitue une zone de décantation, puis traversent la colonne remplie d'un garnissage spécialement adapté au produit à traiter. Un mouvement périodique de pulsation est maintenu dans le mélange solide-liquide afin d'assurer le mélange intime des deux phases et de maintenir le solide en suspension.

Le solvant est introduit en pied d'extracteur et circule à contre-courant du solide. L'extract est évacué en tête par une pompe. L'inerte est évacué en suspension en pied de colonne.

Cet appareil est utilisé pour des applications les plus diverses telles que le traitement de plantes pharmaceutiques ou de graines protéagineuses et le lavage de boues issues de procédés chimiques.

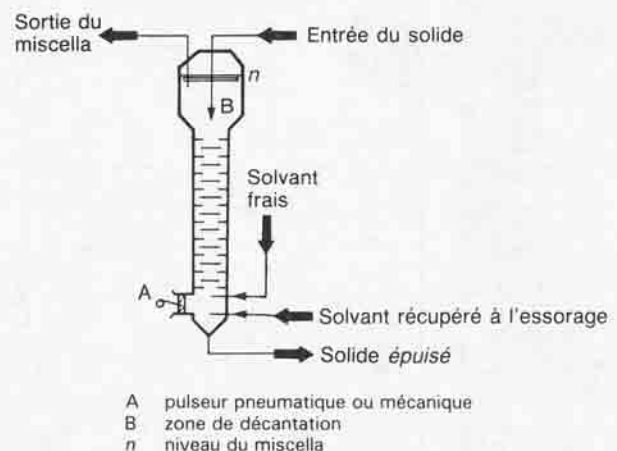


Fig. 23. - Colonne pulsée CEA.

Type d'extracteur	Constructeurs (Licenciés)	Pays (3)	Capacités en tonnes de solide par jour (1)	Principales dimensions en mètres	Hauteur du lit	Produits traités (1)	Efficacité (%)	Rapport massique liquide/solide	Temps de séjour du liquide min	Unités en service dans le monde
Compartiments mobiles	ROTOCEL (Smor-Rosdown) (Kuppl) (Mitsubishi) EGA (2)	USA USA GB RFA J RFA	0,2 à 3 000 (Soja) 1 200 (CAS)	6,4 à 7,3	1,8 à 3,0	GOF, GOP, CAS (Soja) The Café, Tabac Houblon, PP Epices Poisson	97,0 à 98,0 (Soja) 92,0 à 97,0 (CAS)	0,8 à 0,85 0,99	18 85	≈ 280
Compartiments fixes	French Oil Mill Machinery (Spectrm)	USA F	60 à 2 700 (Soja) ≤ 1 350 (Coton floconné) ≤ 3 400 (Coton prépressé)	9,0 à 15,0	1,8 à 3,6	GOF, GOP Epices Germe de blé	97,0 à 98,0 (Soja) 96,5 (Coton)	1,1 1,3	45 60	≈ 85
Paniers mobiles, vertical BOLLMAN	Lurgi French Oil Mill Machinery	RFA USA	180 à 900	14,0	0,5 à 0,7	GOF	97,3 (Soja)	0,96	≈ 95	
Paniers mobiles, horizontal	French Oil Mill Machinery Lurgi Fratelli Garazzi Bernardini HLS	USA RFA I I IL	≤ 3 000 3,0 à 4 000	0,5 à 0,7	0,5 à 0,7	GOF, Cacao Poisson GOH	97,0 à 98,0 (Soja) 75,0 à 80,0 (GOH)			≈ 150
Chaîne de convoyage à grande bouche	Crown Iron Works BMA (2)	USA RFA	1,0 à 1 500 (GOF) 1 000 à 6 000 (CAS)	3,0 à 24,0 16,0 à 28,0	0,1 à 0,8 ≤ 1,8	GOF, GOP CAS	96,3 à 98,5 95,5 à 97,6	0,8 à 1,0 1,0 à 1,12	40 40	≈ 130 ≈ 25
Chaîne de convoyage à boudes multiples	Oiler Silver Eng.	F USA	500 à 1 450 3 300	11,5 23,0 23,5	1,5 à 2,1 3,6	BAS	99,0 98,8	1,2 1,27 à 1,37	65 à 70 70 à 90	≈ 20
Bande transporteuse	De Smet Extrac-tion	B	700 à 7 200 (Sucrene) 10 à 3 000 (Huile)	7,0 à 37,0	0,5 à 9,5	GOF, GOP Pomme Sucre, Houblon	97,0 à 98,0 (CAS)	0,95 à 1,1	40 à 60	≈ 350
Immersion double vis, horizontal	DPS (2) Silver Eng. Niro Atomizer	DK USA USA	0,7 à 3 000 1 500 à 4 500 ≥ 0,2	8,0 à 11,0	5,5 à 8,8	CAS, BAS, Pomme The Café Cerase, Epices	97,0 (BAS) 96,1 (CAS) 99,0 (Cerase)	1,09 1,03 2,15	60 à 70 30 à 35	≈ 435
Immersion simple vis, horizontal TIREMONT	(Silver Eng.) (FCB) (2) (ABR Eng.) (F&S et Craig) (2) (Reganne)	USA F B GB I	600 à 10 000	4,7 à 7,0	1,2 à 2,7	BAS	98,5	1,1 à 1,2	60 à 90	≈ 230
Immersion à vis, vertical	Buckau-Wolf BMA (2) Silver Eng. Bernardini	RFA RFA USA I	800 à 6 000 880 à 6 600	10,2 à 14,1 13,8 à 16,6		BAS GOF	98,3	1,2 à 1,25	70 à 90	≈ 265

(1) Abréviations des produits traités: BAS: betterave à sucre; CAS: carne à sucre; GOF: graines oléagineuses floconnées; GOP: graines oléagineuses prépressées; GOH: graines oléagineuses à haute teneur en huile; PP: plantes pharmaceutiques.

(2) Abréviations des constructeurs: BMA: Braunschweigische Maschinenbauanstalt; DDS: De Danske Sukkerfabrikker; EGA: Extraktionstechnik Gesellschaft für Anlagenbau; FCB: Fives Cail Babcock; F&S: Fletcher & Stewart.

(3) B: Belgique; DK: Danemark; F: France; GB: Grande-Bretagne; I: Italie; IL: Israël; J: Japon; USA: États-Unis.

3,6 TABLEAU RÉCAPITULATIF DES APPAREILS INDUSTRIELS

Le tableau ci-contre rassemble :

- les **caractéristiques** des principaux types d'extracteurs actuellement en service dans le monde,
- les noms des **constructeurs** et leur pays d'origine,
- les **performances** et les **domaines d'applications**.

Pour plus de détails sur les **applications** de l'extraction solide-liquide, le lecteur pourra également se reporter au paragraphe 1 du fascicule J 2 780.

Les **constructeurs** des principaux appareils sont rassemblés dans la Documentation ci-dessous. Signalons que certains appareils précédemment décrits (extracteurs Soxhlet, Kumagawa, Robert, Shanks, Pachuca, etc.) font simplement appel pour leur construction à des verriers ou à des chaudronniers.

Documentation

CONSTRUCTEURS. FOURNISSEURS

Pour les adresses, se reporter au fascicule J 30 dans la brochure rouge annexée au présent traité.

Belgique

ABR Engineering.
De Smet Extraction S.A.

Danemark

DDS De Danske Sukkerfabrikker.

États-Unis

Crown Iron Works Co.
Dravo Corp.
EMI Corp.
French Oil Mill Machinery Co.
Niro Atomizer Inc.
Silver Engineering.

France

FCB Fives Cail Babcock.
Olier (Sté Nouvelles des Ét.).
Speichim (Sté).

Grande-Bretagne

Craig.
Dorr Oliver Inc.
Fletcher and Stewart.
Simon-Rosedown Ltd.

Israël

HLS Ltd.

Italie

Bernardini S.p.a. (Costruzioni Meccaniche).
Fratelli Gianazza S.p.a.
Regianne.

Japon

Mitsubishi Corp.

République fédérale d'Allemagne

Buckau-Wolf.
Braunschweigische Maschinenbauanstalt AG.
EGA (Extractionstechnik Gesellschaft für Anlagenbau) mbH.
Krupp GmbH.
Lurgi GmbH.

BIBLIOGRAPHIE

1. RICKLES (R.N.). — Chem. Eng. 72 (5) p. 153 (1965).
2. ANDERSON (J.S.) et RITCHIE (M.I.). — Mining Cong. J. 54 (1) p. 20 (1968).
3. SHIEBEL (M.R.). — Liquid solid extraction dans Kirk-Othmer Encyclopedia of chemical technology. J. Wiley & Sons New York (1965).
4. CHEN (N.M.). — Chem. Eng. 71 (24) p. 125 (1964).
5. FOUST (A.S.). — Principles of unit operations. p. 18 J. Wiley & Sons New York (1960).
6. OTHMER (D.F.) et ARGAWAL (J.G.). — Chem. Eng. Progr. 51 p. 372 (1955).
7. BADGER (W.L.) et BANCHERO (J.T.). — Introduction to chemical engineering. p. 320, McGraw Hill, New York (1955).
8. MCGINNIS (R.A.). — Beet sugar technology. Reinhold, New York (1951).
9. ANDERSON (E.T.) et McCUBBINS (K.). — J. Am. Oil. Chem. Soc., 31 p. 475 (1954).
10. KARNOFSKY (G.). — Chem. Eng., 57 (8) p. 109 (1950).
11. COFIELD (E.P.). — Chem. Eng., 58 (1) p. 127 (1951).
12. NORRIS (F.A.). — Bayley's industrial oil and fat products. 3^e éd., p. 679, Interscience, New York (1964).
13. BERNARDINI (E.J.). — J. Am. Oil. Chem. Soc., 53 p. 275 (1976).
14. BECKER (W.J.). — J. Am. Oil. Chem. Soc., 55 p. 754 (1978).
15. HUGOT (E.). — Handbook of sugar cane engineering. 2^e éd., p. 356, Elsevier, Amsterdam (1972).
16. LENIGER (H.A.) et BEVERLOO (W.A.). — Food process engineering. p. 500, D. Reidel, Boston (1975).
17. MILLIGAN (E.D.). — J. Am. Oil. Chem. Soc., 53 p. 286 (1976).
18. LAMONT (A.G.). — Can. J. Chem. Eng., 36 p. 153 (1958).
19. FAUGERAS (P.), HENRY (E.), MALATERRE (R.), ROS (P.) et FREMEAUX (P.). — Perfectionnement concernant l'évacuation de solides dans les colonnes de traitement de solides divisés par des liquides. BF n° EN 78.36388, 19 déc. 1978.

Toute reproduction sans autorisation du Centre Français du Copyright est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Génie et procédés chimiques.

GAGNEZ DU TEMPS ET SÉCURISEZ VOS PROJETS EN UTILISANT UNE SOURCE ACTUALISÉE ET FIABLE

Techniques de l'Ingénieur propose la plus importante collection documentaire technique et scientifique en français !

Grâce à vos droits d'accès, retrouvez l'ensemble des **articles et fiches pratiques de votre offre**, **leurs compléments et mises à jour**, et bénéficiez des **services inclus**.



RÉDIGÉE ET VALIDÉE
PAR DES EXPERTS



MISE À JOUR
PERMANENTE



100 % COMPATIBLE
SUR TOUS SUPPORTS
NUMÉRIQUES



SERVICES INCLUS
DANS CHAQUE OFFRE

- + de 350 000 utilisateurs
- + de 10 000 articles de référence
- + de 80 offres
- 15 domaines d'expertise

- ☐ Automatique - Robotique
- ☐ Biomédical - Pharma
- ☐ Construction et travaux publics
- ☐ Électronique - Photonique
- ☐ Énergies
- ☐ Environnement - Sécurité
- ☐ Génie industriel
- ☐ Ingénierie des transports
- ☐ Innovation
- ☐ Matériaux
- ☐ Mécanique
- ☐ Mesures - Analyses
- ☐ Procédés chimie - Bio - Agro
- ☐ Sciences fondamentales
- ☐ Technologies de l'information

**Pour des offres toujours plus adaptées à votre métier,
découvrez les offres dédiées à votre secteur d'activité**

Depuis plus de 70 ans, Techniques de l'Ingénieur est la source d'informations de référence des bureaux d'études, de la R&D et de l'innovation.

www.techniques-ingenieur.fr

CONTACT : Tél. : + 33 (0)1 53 35 20 20 - Fax : +33 (0)1 53 26 79 18 - E-mail : infos.clients@teching.com

LES AVANTAGES ET SERVICES compris dans les offres Techniques de l'Ingénieur

ACCÈS



Accès illimité aux articles en HTML

Enrichis et mis à jour pendant toute la durée de la souscription



Téléchargement des articles au format PDF

Pour un usage en toute liberté



Consultation sur tous les supports numériques

Des contenus optimisés pour ordinateurs, tablettes et mobiles

SERVICES ET OUTILS PRATIQUES



Questions aux experts*

Les meilleurs experts techniques et scientifiques vous répondent



Articles Découverte

La possibilité de consulter des articles en dehors de votre offre



Dictionnaire technique multilingue

45 000 termes en français, anglais, espagnol et allemand



Archives

Technologies anciennes et versions antérieures des articles



Impression à la demande

Commandez les éditions papier de vos ressources documentaires



Alertes actualisations

Recevez par email toutes les nouveautés de vos ressources documentaires

*Questions aux experts est un service réservé aux entreprises, non proposé dans les offres écoles, universités ou pour tout autre organisme de formation.

ILS NOUS FONT CONFIANCE



www.techniques-ingenieur.fr

CONTACT : Tél. : + 33 (0)1 53 35 20 20 - Fax : +33 (0)1 53 26 79 18 - E-mail : infos.clients@teching.com