

Techniques en brasserie

par **Luc FILLAUDEAU**

Ingénieur HEI Génie chimique

*Docteur en génie de Procédés industriels de l'université de technologie de Compiègne
Chargé de recherches à l'Institut national de la recherche agronomique (INRA)*

Pascal BLANPAIN-AVET

*Docteur en génie des Procédés industriels de l'université de technologie de Compiègne
Chargé de recherches à l'Institut national de la recherche agronomique (INRA)*

et **Manfred MOLL**

*Docteur de l'université Henri Poincaré – Nancy I
Consultant international dans les IAA*

Sources bibliographiques

- [1] ERNST et YOUNG. – *The contribution made by beer to the European economy : employment, value added and tax*. Final report, Amsterdam, janv. 2006.
- [2] CIANCIA (S.). – *Micro-brewing : a new challenge for beer*. BIOS Int., 2, p. 4-10 (2000).
- [3] LEVINSON (J.). – *Malting-brewing : a changing sector*. BIOS Int., 5(1), p. 12-15 (2002).
- [4] BRAUSTATISTIK. – *Developments in the international and national beer market in 2008*. Brauwelt Int., 28, p. 70-73 (2010).
- [5] *Répertoire des brasseries françaises*. Édition 2010, BIOS, Liquides et Conditionnement, 347(6-7), p. 21-40 (2010).
- [6] KORONEOS (C.), ROUMBAS (G.), GABARI (Z.), PAPAGIANNIDOU (E.) et MOUSSIOPOULOS (N.). – *Life cycle assessment of beer production in Greece*. J. Cleaner Prod., 13, p. 433-439 (2005).
- [7] KAWASAKI (Y.) et KONDO (H.). – *Challenges in the brewing business in Japan toward an environmentally friendly company*. MBAA Technical Quarterly, 42, p. 107-112 (2005).
- [8] UNTERSTEIN (K.). – *Energy and water go to make beer*. Brauwelt Int., 18, p. 368-370 (2000).
- [9] PERRY (M.) et DE VILLIERS (G.). – *Modeling the consumption of water and other utilities*. Brauwelt Int., 21, p. 286-290 (2003).
- [10] MOLL (M.). – *Bières et coolers, définition, fabrication, composition*. Chap. III, p. 15-263, Éd. Tec. & Doc. Lavoisier, Paris, FR, ISBN : 2852067528, 515 p. (1991).
- [11] KNIRSCH (M.), PENSCHKE (A.) et MEYER-PITTRUFF (R.). – *Disposal situation for brewery waste in Germany : Results of a survey*. Brauwelt Int., 4, p. 477-481 (1999).
- [12] MOLL (M.). – *Water in malting brewing*. In *Brewing Science*, vol. 1, Éd. POLLOCK (J.R.A.), Academic Press Inc., London, UK, ISBN : 0-12-561001-7, 666 p. (1981).
- [13] HOUGH (J.S.), BRIGGS (D.E.), STEVENS (R.) et YOUNG (T.V.). – *Malting and brewing science : hopped wort and beer*. 2^e édition, vol. 2, Chapman and Hall, New York, USA, ISBN : 0-8342-1684-1, 525 p. (1982).
- [14] CBMC. – *The brewers of Europe, Guidance note for establishing BAT in the brewing industry*. Éd. Confédération des Brasseurs du Marché Commun (CBMC), 181, chaussée de la Hulpe, boîte 20, B-1170 Bruxelles, réf. 1916-09-2001, 14 octobre 2002 (2002).
- [15] ZANARDELLI (M.P.). – *La filtration de la bière*. BIOS, 23(3), p. 35-43 (1992).
- [16] BOSCHET (G.). – *La stabilisation de la bière avec l'emploi de produits à base de PVPP et de gel de silice*. BIOS, 17(8-9), p. 49-52 (1986).
- [17] DJURTOFT (R.). – *Composition of the protein and polypeptide fraction of EBC beer haze preparation*. J. of the Institute of Brewing, 71, p. 305-315 (1965).
- [18] REHMANJI (M.), GOPAL (C.) et MOLA (A.). – *Beer stabilization technology – Clearly a matter of choice*. MBAA Technical Quarterly, 42, p. 332-338 (2005).
- [19] MOLL (M.). – *Colloidal stability of beer*. In *Brewing Science*, vol. 3, Éd. POLLOCK (J.R.A.), Academic Press Inc., London, UK, ISBN : 0-12-561002-5, 611 p. (1987).
- [20] ASANO (K.), SHINANGAWA (K.) et HASHIMOTO (N.). – *Characterization of haze forming proteins of beer and their roles in chill haze formation*. J. Am. Soc. Brew. Chem., 40, p. 147-154 (1982).
- [21] BISHOP (L.R.). – *Haze- and foam forming substances in beer*. J. of the Institute of Brewing, 81, p. 444-449 (1975).
- [22] EASTMOND (R.) et GARDNER (R.J.). – *Effect of various polyphenols on the rate of haze formation in beer*. J. of the Institute of Brewing, 80, p. 192-200 (1974).
- [23] HARRIS (G.) et RICKETT (R.W.). – *Studies on non-biological hazes of beers : VII The use of polyamide resins for removing the haze-forming polyphenols from beer*. J. of the Institute of Brewing, 65, p. 256-258 (1959).
- [24] WOOF (J.B.) et PIERCE (J.S.). – *Studies on the mechanism of haze formation*. Proceedings of the 11th EBC Congress, Madrid, Espagne. Elsevier Publishing C., Amsterdam, p. 365-377 (1967).
- [25] YOKOI (S.), TSUGITA (A.) et KAMADA (K.). – *Characterization of major proteins and peptides in beer*. J. Am. Soc. Brew. Chem., 46, p. 99-103 (1989).
- [26] YOKOI (S.), MAEDA (K.), XIAO (R.), KAMADA (K.) et KAMIMURA (M.). – *Characterization of beer proteins responsible for the foam of beer*. Proceedings of the 22th EBC Congress, Zürich, Suisse, IRL Press Oxford University, p. 593-600 (1989).
- [27] VAZQUEZ (L.C.). – *Rapid determination of beer proteins by copper complexation*. J. of the Institute of Brewing, 84, p. 165-166 (1978).
- [28] SORENSEN (S.B.) et OTTENSEN (M.). – *Fractionation and characterization of beer proteins*. Carlsberg Research Communications, 43, p. 133-144 (1978).
- [29] MOHAN (S.B.), O'SHAUGNESSY (C.), SHUTTELWORTH (G.) et LYDDIATT (A.). – *Characteristics of beer proteins which affect foam stability*. Proceedings of the 24th EBC Congress, Oslo, Norvège. IRL Press Oxford University, p. 341-348 (1993).
- [30] HEJGAARD (J.) et KAERGAARD (P.). – *Purification and properties of the major antigenic beer protein of barley origin*. J. of the Institute of Brewing, 89, p. 402-410 (1989).
- [31] MALANDA (M.) et MILLET (P.). – *La bière : source d'acides aminés !* BIOS, 23(6-7), p. 92-98 (1992).
- [32] BRIGGS (D.E.), HOUGH (J.S.), STEVENS (R.) et YOUNG (T.V.). – *Malting and brewing science : malt and sweet wort*. 2^e édition, vol. 1, Chapman and Hall, London, UK, ISBN : 0-41216580-5, 387 p. (1981).
- [33] NARZISS (L.), REICHENENDER (E.) et EDNEY (M.J.). – *Studying beer filtration with an ac-*

- curate β -glucan assay. *Monatsschrift für Brauwissenschaft*, 41, p. 277-285 (1989).
- [34] NARZISS (L.). – *B-glucan und Filtrierbarkeit*. Brauwelt, 132, p. 1696-1706 (1992).
- [35] DUCROO (P.) et FRELON (P.G.). – *Improvement of beer production by the use of β -glucanase-pentosanase from *Disporotrichum dimorphosporum**. Proceedings of the 22th EBC Congress, Zürich, Suisse, IRL Press Oxford University, p. 445-452 (1989).
- [36] LETTERS (R.), BYRNE (H.) et DOHERTY (M.). – *The complexity of beer β -glucans*. Proceedings of the 20th EBC Congress, Helsinki, Finlande, IRL Press Oxford University, p. 395-402 (1985).
- [37] EVERS (H.). – *Conception and field report about a novel filter system for keiseliguhr-free beer filtration*. *Cerevisia*, 31, p. 78-83 (2006).
- [38] MOLL (A.). – *Die Anwendungsmöglichkeiten des Kieselgurfilters im Brauereibetrieb*. Schweizer Brauerei Rundschau, 60(9), p. 143-145 (1949).
- [39] MOLL (A.). – *Steriles Bier durch Kieselgurfiltration*. Schweizer Brauerei Rundschau, 60(3), p. 44-45 (1949).
- [40] MOLL (A.). – *Der Einfluss der Kieselgurfiltration auf Bier*. Schweizer Brauerei Rundschau, 62(5), p. 83-85 (1951).
- [41] MOLL (M.), ROUQUIE (A.M.) et FLAYEUX (R.). – *Les adjuvants et supports de filtration de la bière*. *BIOS*, 5(3), p. 101-110 (1974).
- [42] BRENNER (F.) et OECHSLE (D.). – *Trends in beer filtration*. *Brauwelt Int.*, 2, p. 150-158 (1987).
- [43] BEER (C.). – *What real alternatives to keiseliguhr and PVPP?* *Brewing and Distilling Int.*, 20(9), p. 30-43 (1989).
- [44] MODROK (A.), WEBER (D.), DIEL (B.) et RODENBERG (M.). – *Crossflow filtration of beer. The true alternative to diatomaceous earth filtration*. MBAA Technical Quarterly, 43, p. 194-198 (2006).
- [45] BAIMEL (S.H.), SMITH (T.R.), REES (R.H.), COOTE (N.) et Sulpizio (T.E.). – *Filtration with diatomite*. *Brauwelt Int.*, 22, p. 54-55 (2004).
- [46] SCHUURMAN (R.), BROENS (L.), MOL (M.), MEIJER (D.) et MEPSCHEN (A.). – *Reality of Norit's Keiseliguhr-free beer membrane filtration*. 118th MBAA Convention, Miami, Florida, USA (2005a).
- [47] BLÜMELHUBER (G.). – *Kieselguhr sludge? Disposal problems?* *Brauwelt Int.*, 25, p. 305-309 (2007).
- [48] SCHUURMAN (R.), MEIJER (D.), BROENS (L.) et MEPSCHEN (A.). – *Full scale results of Keiseliguhr-free beer membrane filtration and in-line stabilization in one step process*. In Fachverlag Hans Carl Editor, Proceedings of EBC2005, Prague, Czech Republic (2005b).
- [49] HRYCYK (G.). – *The recovery and disposal of diatomaceous earth in breweries*. MBAA Technical Quarterly, 34, p. 293-298 (1997).
- [50] MARTINOVIC (S.), VLAHOVIC (M.), BOLJANAC (T.) et PAVLOVIC (L.). – *Preparation of filter aids based on diatomites*. *Int. J. Miner. Process*, 80, p. 255-260 (2006).
- [51] BRAUN (F.), BACK (W.) et KROTTENTHALER (M.). – *Beer filtration using cellulose fibres. A review*. *Brewing Science*, 62, p. 33-43 (2009).
- [52] FREEMAN (G.) et REED (R.). – *A review of filter aids and their efficient use*. *The Brewer*, 85(2), p. 77-84 (1999).
- [53] FILLAUDEAU (L.), DECLoux (M.) et BORIES (A.). – *Handbook of water and energy management in food processing. Part VI: Water and energy minimization in particular industry sectors: Chap. 35: Brewing, winemaking and distilling: an overview of wastewater treatment and utilization schemes*. Ed. Jiri Klemes, Robin Smith and Jin-Kuk Kim, p. 929-995, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, UK, ISBN : 978-1-84569-195-0, 1029 p. (2008).
- [54] BRAUN (F.), BECKER (Th.), BACK (W.) et KROTTENTHALER (M.). – *Bierfiltration mit Zellulose-Fasern im Überblick*. *Brauwelt*, 150, p. 392-395 (2010).
- [55] RAHIER (G.) et HERMIA (J.). – *Clarification and stabilization of beer with a regenerativer adjuvant*. *Cerevisia*, 26, p. 204-209 (2001).
- [56] DOSTÁLEK (P.), SIRITOVA (L.), CERNY (Z.), CASENSKY (B.) et MIKULKA (J.). – *Beer stabilization by polyamide sorbents*. In Fachverlag Hans Carl Editor, Proceeding EBC, Hamburg, Germany (2009).
- [57] BONNACHELLI (B.), HARMEGNIES (F.) et TIGEL (R.). – *Beer filtration with regenerable filter aid: semi-industrial results*. In Fachverlag Hans Carl Editor, Proceedings of the 27th European Brewery Convention Cannes, France, p. 807-814 (1999).
- [58] LIBOUTON (M.), DAOUST (D.), SCLAVONS (M.), BIEBUYCK (J.-J.) et VAN NEDERVELDE (L.). – *Characterization and efficiency of a new regenerable polymeric filter aid for beer filtration*. In Fachverlag Hans Carl Editor, Proceedings EBC, Venice, Italy (2007).
- [59] LIBOUTON (M.), DAOUST (D.), SCLAVONS (M.), BIEBUYCK (J.-J.) et VAN NEDERVELDE (L.). – *Simultaneous filtration and stabilization of the beer: potentiality of oxidized high density polyethylene (PEox) as filter aid*. In Fachverlag Hans Carl Editor, Proceedings EBC, Hamburg, Germany (2009).
- [60] ZUBER (J.P.) et MEFFERT (H.). – *Precoat filtration with regenerable filter aid*. In World Brewing Congress, Hawaiï, USA (2008).
- [61] SCHNELL (U.), FOLEY (J.) et MEFFERT (H.). – *Crosspure polymers - The future of Keiseliguhr-free beer filtration*. In World Brewing Congress, Hawaiï, USA (2008).
- [62] FRATIANNI (A.). – *Crosspure: regenerable DE-free filtration for existing beer filters*. In 123rd MBAA Convention, Rhodes Island, USA (2010).
- [63] EUROPEAN COMMISSION. – *Council directive 96/61/EC*, Brussels, 24 sept. 1996.
- [64] BUTTRICK (P.). – *Choices: beer processing and filtration*. *Brewer and Distiller Int.*, 6, p. 10-16 (2010).
- [65] SCHNEIDER (J.), KROTTENTHALER (M.), BACK (W.) et WEISSER (H.). – *Study on the membrane filtration of mash with particular respect to the quality of wort and beer*. *J. of the Institute of Brewing*, 111, p. 380-387 (2005).
- [66] WACKERBAUER (K.) et EVERS (H.). – *Kieselguhr-free filtration by means of the F&S system*. *Brauwelt Int.*, 2, p. 128-133 (1993).
- [67] CANTRELL (I.C.), DICKENSON (C.J.), HOMER (K.) et LOWE (C.M.). – *The recovery of beer from yeast and other processing residue by ultrafiltration*. Proceedings of the 20th EBC Congress, Helsinki, Suède, IRL Press Oxford University, p. 691-698 (1985).
- [68] REED (R.J.R.) et LEEDER (G.I.). – *Crossflow filtration in brewing*. *Brewer's Guardian*, 115(7), p. 15-18 (1986).
- [69] LE (M.S.). – *Recovery of beer from tank bottoms with membranes*. *J. Chem. Tech. Biotechnol.*, 37, p. 59-66 (1987).
- [70] NOBLE (C.S.). – *Beer filtration: current practice and future technologies*. *Ferment*, 1(2), p. 35-39 (1988).
- [71] REED (R.). – *Advances in filtration*. *The Brewer*, 9, p. 965-970 (1989).
- [72] FINNIGAN (T.), SHACKLETON (R.) et SKUDDER (P.). – *Using ceramic microfiltration for the filtration of beer and recovery of extract*. *Filtration and Separation*, 26, p. 198-200 (1989).
- [73] REED (R.J.R.), EVANS (S.P.), TAYLOR (D.G.) et ANDERSON (H.J.). – *Single stage down-stream processing of beer using pulsed cross-flow filtration*. Proceedings of the 22nd EBC Congress, Zürich, Suisse, IRL Press Oxford University, p. 413-424 (1989).
- [74] RENÉ (F.) et MAINGONNAT (J.F.). – *Microfiltration tangentielle de la bière*. *Revue Bibliographique, Revue Ind. Agroalimentaires et Agricoles*, 110, p. 721-729 (1993).
- [75] NIELSEN (C.E.). – *Microfiltration route to recovering beer from tank bottoms*. *Brewing and Distilling Int.*, 20(9), p. 20-21 (1989).
- [76] HERMIA (J.) et EYBEN (D.). – *Considération sur les procédés de filtration en brasserie*. Proceedings of the 19th EBC Congress, Londres, Royaume Uni, Verlag Hans Carl, Postfach 990153, 90268 Nurnberg, Allemagne, p. 209-224 (1983).
- [77] POSADA (J.). – *Filtration of beer*. In: *Brewing science*, vol. 3, éd. Pollock JRA, Academic Press Inc., London, UK, ISBN : 0-12-561002-5, 611 p. (1987).
- [78] DAOUD (I.). – *Crossflow microfiltration: an alternative mash separation*. *The Brehouse Brewer and Distiller Int.*, 23(5), p. 18-19 (1992).
- [79] FILLAUDEAU (L.), BOISSIER (B.), MOREAU (A.), BLANPAIN-AVET (P.), ERMOLAEV (S.), JITARIOUK (N.) et GOURDON (A.). – *Investigation of rotating and vibrating filtration for clarification of rough beer*. *J. Food. Eng.*, 80, p. 206-217 (2007).
- [80] HSIEH (H.P.). – *Membrane science and technology serie 3 – Inorganic membranes for separation and reaction*. Ed. HSIEH (H.P.), p. 210-212, Elsevier Science, UK, ISBN : 0-44-4816771, 610 p. (1996).
- [81] O'REILLY (S.M.G.), LUMMIS (D.J.), SCOTT (J.) et MOLZAHN (S.W.). – *The application of ceramic filtration for the recovery of beer from tank bottoms and in beer filtration*. In: IRL Press Ltd. Editor. Proceedings of the 21st EBC Congress, Madrid, Spain, p. 639-647 (1987).
- [82] SCHLENKER (R.W.). – *Beer recovery from spent yeast by SCHENK TFF system*. *Brewing Distilling Int.*, 25(7), p. 28-29 (1994).
- [83] SCHLENKER (R.W.). – *Tangential flow filtration for beer recovery from spent yeast*. *Filtration and Separation*, 35, p. 863-865 (1998).
- [84] WENTEN (I.G.), KOENHEN (D.M.), ROESINK (H.D.W.), RASMUSSEN (A.) et JONSSON (G.). – *The backshock process: a novel backflush technique in microfiltration*. In: Elsevier Science Publishing Co. Inc., New York, Proceeding of the 2nd International Conference on Engineering of Membrane Processes, Italia (1994).
- [85] BOCK (M.) et OECHSLE (D.). – *Beer recovery from spent yeast with keralfux membranes*. *The Brewer*, 85, p. 340-345 (1999).

- [86] HANSEN (N.L.). – *From filter presses over centrifuges to crossflow and vibrating membrane filtration*. In : World Brewing Congress, Orlando, Florida, USA (2000).
- [87] METHNER (F.J.), PETERS (U.), STETTNER (G.), SIMON (Th.), LOTZ (M.) et ZIEHL (J.). – *Investigation on beer recovery from excess yeast*. Brauwelt Int., 22, p. 326-330 (2004).
- [88] PALL CORPORATION. – *Brewery describes use of pall beer filtration system*. Membrane Technology, 6, p. 4 (2004).
- [89] SCHARZT (C.), SCHNEEBERGER (M.), KREISZ (S.) et SCHNELLER (T.). – *Verbrauchsanalyse des crossflow-membranfilters BMF-200*. Brauwelt, 145, p. 1107-1116 (2006).
- [90] PECHER (C.). – *Recovering beer economically*. Brauwelt Int., 25, p. 294-298 (2007).
- [91] ALFA LAVAL. – *Filtration system recovers beer and surplus yeast*. Membrane Technology, 3, p. 4-5 (2008).
- [92] FINNIGAN (T.), SHACKLETON (R.) et SKUDDER (P.). – *Filtration of beer and recovery of extract from brewery tank bottoms using ceramic microfiltration*. In : Proc. Filtech Conf., Utrecht, p. 533 (1987).
- [93] MEUNIER (J.P.). – *Use of crossflow filtration for process beer yeast and tank bottoms*. In : Proc. 5th World Filtration Congr., Nice, France (1990).
- [94] SNYDER (J.) et HAUGHNEY (H.). – *Use of vibrating membrane filter for the recovery of beer from surplus yeast*. MBAA Technical Quarterly, 36, p. 191-193 (1999).
- [95] BÜHLER (T.M.), McKETCHNIE (M.T.) et WAKEMAN (R.J.). – *Temperature induced particle aggregation in mashing and its effect on filtration performance*. Trans. IChemE, Part. C. Food. and Bioprod. Proc., 74, p. 207-211 (1996).
- [96] BÜHLER (T.M.), BURRELL (K.), EGGARS (H.U.) et REED (R.J.R.). – *The application of membranes for new approaches to brewery operations*. Proc. 24th EBC Congress, Oslo, Norway, IRL Press Oxford University, p. 691-700 (1993).
- [97] REED (R.). – *Current and future roles of membranes in brewing*. Membrane Technology, 9, p. 5-8 (1998).
- [98] SPEERS (R.A.), JIN (Y.L.), PAULSON (A.T.) et STEWART (R.J.). – *Effect of β -glucan, shearing and environmental factors on the turbidity of wort and beer*. J. of the Institute of Brewing, 109, p. 236-244 (2003).
- [99] SIEBERT (K.J.) et LYNN (P.Y.). – *Effects of alcohol and pH on protein-polyphenol haze intensity and particle size*. J. Am. Soc. Brew. Chem., 61, p. 88-98 (2003).
- [100] SIEBERT (K.J.) et LYNN (P.Y.). – *The effect of beer pH on colloidal stabilization with adsorbents*. J. Am. Soc. Brew. Chem., 65, p. 52-58 (2007).
- [101] SIEBERT (K.J.) et LYNN (P.Y.). – *On the mechanism of adsorbent interactions with haze-active proteins and polyphenols*. J. Am. Soc. Brew. Chem., 66, p. 48-54 (2008).
- [102] SIEBERT (K.J.). – *pH and beer colloidal stability*. Ceravisiae, 30, p. 189-194 (2005).
- [103] LEIPER (K.A.), STEWART (G.G.), McKEOWN (I.P.), NOCK (T.) et THOMPSON (M.J.). – *Optimising beer stabilisation by the selective removal of tannoids and sensitive proteins*. J. of the Institute of Brewing, 111, p. 118-127 (2005).
- [104] LOPEZ (M.) et EDENS (L.). – *Effective prevention of chill-haze in beer using an acid pro-*
- line-specific endoprotease from aspergillus niger*. J. Agric. Food. Chem., 53, p. 7944-7949 (2005).
- [105] MIEDL (M.), GARCIA (M.A.) et BAMFORTH (C.W.). – *Haze formation in model beer systems*. J. Agric. Food. Chem., 53, p. 10161-10165 (2005).
- [106] THOMAS (K.), GIBSON (C.), RIDDELL (P.) et KELLY (A.). – *Adsorption of beer components during membrane microfiltration of beer*. MBAA Technical Quarterly, 44, p. 164-169 (2007).
- [107] WALKERS (S.L.), CARARENA (C.D.) et FREEMAN (G.). – *Alternatives to Isinglass for beer clarification*. J. of the Institute of Brewing, 113, p. 347-354 (2007).
- [108] FILLAUDEAU (L.) et CARRÈRE (H.). – *Yeast cells, beer composition and mean pore diameter impacts on fouling and retention during cross-flow filtration of beer with ceramic membranes*. J. Mem. Sci., 196, p. 39-57 (2002).
- [109] EAGLES (W.P.) et WAKEMAN (R.J.). – *Interactions between dissolved material and the fouling layer during microfiltration of a model beer solution*. J. Mem. Sci., 206, p. 253-264 (2002).
- [110] YOKHANIS (M.), HARRIS (J.L.) et ROGERS (P.). – *Investigation of membrane fouling in the microfiltration of beer*. In : 5th International Membrane Science and Technology Conference, Sydney, Australia (2003).
- [111] BRANTLEY (J.) et KINSEY (J.). – *Investigation of material characteristics and influence on beer final filtration*. MBAA Technical Quarterly, 41, p. 371-373 (2004).
- [112] JIAN (L.), YIN (L.), GUOXIAN (G.) et ZHONG-GUI (M.). – *Effects of molecular weight and concentration of arabinoxylans on the membrane plugging*. J. Agric. Food. Chem., 53, p. 4996-5002 (2005).
- [113] BRANTLEY (J.D.). – *Beer filtration : membrane morphology and fluid dynamics*. MBAA Technical Quarterly, 42, p. 342-345 (2005).
- [114] RIDDEL (P.) et KELLY (A.). – *The effect of microporous membrane filtration on beer foam stability*. MBAA Technical Quarterly, 41, p. 379-385 (2004).
- [115] JIN (Y.-L.), SPEERS (R.A.), PAULSON (A.T.) et STEWART (R.J.). – *Effect of α -glucans and process conditions on the membrane filtration performances of beer*. J. Am. Soc. Brew. Chem., 62, p. 117-124 (2004).
- [116] ASANO (S.), SUZUKI (K.), IJIMA (K.), MOTOMYAMA (Y.), KURIYAMA (H.) et KITAGAWA (Y.). – *Effect of morphological changes in beer spoilage lactic acid bacteria on membrane filtration in brewery*. J. Bioscience Bioengineering, 104, p. 334-338 (2007).
- [117] ZATOR (M.), FERRANDO (M.), LOPEZ (F.) et GÜELL (C.). – *Microfiltration of protein/dextran/polyphenol solutions : characterization of fouling and chemical cleaning efficiency using confocal microscopy*. J. Mem. Sci., 344, p. 82-91 (2009).
- [118] YAZDANSHENAS (M.), TABATABAEINEJAD (S.A.R.), SOLTANIEH (M.), TAVAKKOLI (A.), BABALUO (A.A.) et FILLAUDEAU (L.). – *Dead-end microfiltration of rough nonalcoholic beer by different polymeric membranes*. J. Am. Soc. Brew. Chem., 68, p. 83-88 (2010a).
- [119] STOPKÁ (J.), SCHLOSSER (S.), DÖMENY (Z.) et SMOGROVICOVA (D.). – *Flux decline in microfiltration of beer and related solutions of*
- model foulants through ceramic membranes*. Polish J. Environmental Studies, 9, p. 65-69 (2000).
- [120] STOPKÁ (J.), BUGAN (S.G.), BROUSSOUS (L.), SCHLOSSER (S.) et LARBOT (A.). – *Microfiltration of beer yeast suspensions through stamped ceramic membranes*. Separation and Purification Technology, 25, p. 535-543 (2001).
- [121] THOMASSEN (J.K.), FARADAY (D.B.F.), UNDERWOOD (B.O.) et CLEAVER (J.A.S.). – *The effect of varying transmembrane pressure and crossflow velocity on the microfiltration fouling of a model beer*. Separation and Purification Technology, 41, p. 91-100 (2005).
- [122] FILLAUDEAU (L.), BLANPAIN-AVET (P.) et DAUFIN (G.). – *Water, wastewater and waste management in brewing industries*. J. Cleaner. Prod., 14, p. 463-471 (2006).
- [123] ROH (S.H.), SHIN (H.J.) et SI (K.). – *Back-flushing, pulsation and in-fine flocculation techniques for flux improvement in cross-flow microfiltration*. Korean J. Chem. Eng., 23, p. 391-398 (2006).
- [124] GAN (Q.), HOWELL (J.A.), FIELD (R.W.), ENGLAND (R.), BIRD (M.R.), O'SHAUGHNESSY (C.L.) et MEKECHNINIE (M.T.). – *Beer clarification by microfiltration – product quality control and fractionation of particles and macromolecules*. J. Mem. Sci., 194, p. 185-196 (2001).
- [125] KUIPER (S.), VAN RIJN (C.), NIJDAM (W.), RASPE (O.), VAN WOLFEREN (H.), KRIJNEN (G.) et ELWENSPOEK (M.). – *Filtration of lager beer with microsieves : flux, permeate and in-line microscope observations*. J. Mem. Sci., 196, p. 159-170 (2002).
- [126] VAN IERSEL (M.), VAN DEN BOGAARD (W.), LOSER (W.), DUSAMOS (M.) et VAN DE KERK (D.). – *High throughput microfiltration of beer*. In : Fachverlag Hans Carl Editor, Proceedings of EBC Congress 2005, Prague, Czech Republic (2005).
- [127] GIRONES (I.), NOGUE (M.), AKBARSYAH (I.J.), BOLHUIS-VERSTEEG (L.A.M.), LAMMERTINK (R.G.H.) et WESSLING (M.). – *Vibrating polymeric microsieves : antifouling strategies for microfiltration*. J. Mem. Sci., 285, p. 323-333 (2006).
- [128] SCHUURMAN (R.), BROENS (L.), MOL (M.), MEIJER (D.) et MEPSCHEN (A.). – *Reality of Norit's keiselguhr-free beer membrane filtration*. In : 118th MBAA Convention, Miami, Florida, USA (2005a).
- [129] VAN HOOFF (S.), NOORDMAN (T.), BERGHUIS (O.), MOL (M.), PEET (C.) et BROENS (L.). – *Membrane filtration for bright beer, an alternative to keiselguhr*. MBAA Technical Quarterly, 37, p. 273-276 (2000).
- [130] NOORDMAN (T.R.), PEET (C.), IVERSON (W.), BROENS (L.) et VAN HOOFF (S.). – *Crossflow filtration for clarification of Lager beer – Economic reality*. MBAA Technical Quarterly, 38, p. 207-210 (2001).
- [131] BROENS (L.), SCHUURMAN (R.), MEPSCHEN (A.), NOORDMAN (T.R.) et HOLTERMAN (M.). – *Practical brewery experience with beer membrane filtration*. In : Fachverlag Hans Carl Editor. Proceedings of EBC 2003 Dublin, Ireland (2003).
- [132] SCHUURMAN (R.). – *Kieselguhr-free beer filtration with the norit BMF-120 membrane system*. Brewing and Distilling Int., 34(4), p. 12-13 (2003).
- [133] SCHUURMAN (R.), BROENS (L.) et MEPSCHEN (A.). – *Membrane beer filtration – An*

- alternative way of beer filtration. MBAA Technical Quarterly, 40, p. 189-192 (2003).
- [134] SCHUURMAN (R.), MEIJER (D.), BROENS (L.) et MEPSCHEN (A.). – Full scale results of keiselguhr-free beer membrane filtration and in-line stabilization in one step process. In : Fachverlag Hans Carl Editor, Proceedings of EBC2005, Prague, Czech republic (2005b).
- [135] BERGENHENEGOUWEN (S.). – Ten years of experience with beer filtration. Brauwelt, 150, p. 408-409 (2010).
- [136] BUTTRICK (P.). – Filtration – the facts : a survey of system and methods. Brewer and Distiller Int., 3, p. 12-19 (2007).
- [137] DENNIGER (H.) et GAUB (R.). – Cost and quality comparison between DE/keiselguhr and crossflow filtration for beer clarification on industrial scale. In : World Brewing Congress, San-Diego, California, USA (2004).
- [138] ATKINSON (S.). – Beer clarification. Membrane Technology, 7, p. 8-9 (2005).
- [139] HÖFLINGER (W.) et GRAF (J.). – Economics of beer filtration without keiselguhr. Brauwelt Int., 24, p. 149-156 (2006).
- [140] GAUB (R.), SCHNIEDER (G.), ZIEHL (J.) et DENNIGER (H.). – Qualitative Aspekte des keiselguhrfreien Bierfiltration. Teil 2 Untersuchung des mikrobiologische Abscheideleistung. Brauwelt, 146, p. 658-660 (2006).
- [141] RASMUSSEN (P.), KOKHOLM (A.), HAMBACH (H.) et GAUB (R.). – Results of keiselguhr-free filtration at Tuborg Fredericia. Scandinavian Brewer's, Denmark, 63(4), p. 26-31 (2006).
- [142] PICKERELL (A.) et HEEB (W.). – Crossflow membrane filtration at the coors shenandoah brewery. In World Brewing Congress 2008, Hawaii, USA (2008).
- [143] BORREMAN (E.). – Membrane filtration technology in brewing process. Drink Technology and Marketing, 7, p. 24-26 (2003).
- [144] BORREMAN (E.) et MODROK (A.). – Membrane beer filtration by Alfa Laval and Sartorius. Brewing and Distilling Int., 34, p. 10-11 (2003).
- [145] MODROK (A.). – Microbiological methods of beer preservation using membrane filtration. Drink Technology and Marketing, 7, p. 25-27 (2003).
- [146] MODROK (A.), WEBER (D.), DIEL (B.) et RODENBERG (M.). – Crossflow filtration of beer – The true alternative to diatomaceous earth filtration. MBAA Technical Quarterly, 43, p. 194-198 (2006).
- [147] EUROMONITOR. – The world beer market. Chap. 9 : Non/Low alcohol beer global overview (2006).
- [148] KUNZE (W.). – Technology brewing and malting. VLB, Berlin, Germany (1999).
- [149] BRIGGS (D.E.), BOULTON (C.A.), BROOKES (P.A.) et STEVENS (R.). – Brewing science and practice. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, UK, ISBN : 1-85573-490-7, 881 p. (2004).
- [150] CATARINO (M.), MENDESA (A.), MADEIRA (L.) et FERREIRA (A.). – Beer dealcoholization by reverse osmosis. Desalination, 200, p. 397-399 (2006).
- [151] PORTER (M.C.). – Handbook of industrial membrane technology. Éd. Noyes publications, Park Ridge, USA, ISBN : 0-8155-1205-8, 594 p. (1990).
- [152] YAZDANSHENAS (M.), SOLTANIEH (M.), TABATABAEE NEZHAD (S.A.R.) et FILLAUDEAU (L.). – Cross-flow microfiltration of rough nonalcoholic beer and diluted malt extract with tubular ceramic membranes : investigation of fouling mechanisms. J. Mem. Sci., 362, p. 306-316 (2010b).
- [153] LEEDER (G.) et GIRR (M.). – Crossflow microfiltration for processing brewery tank bottoms. MBAA Technical Quarterly, 31, p. 58-63 (1994).
- [154] BACK (W.), LEIBHARD (M.) et BOHAK (I.). – Flash pasteurization – membrane filtration : comparative biological safety. Brauwelt Int., 10, p. 42-49 (1992).
- [155] STEWART (D.C.), HAWTHORNE (D.) et EVANS (D.E.). – Cold sterile filtration : a small-scale filtration test and investigations of membrane plugging. J. of the Institute of Brewing, 104, p. 32-36 (1998).
- [156] HAHN (A.F.). – Beer filtration. Kieselguhr free or plastics free ? Brauwelt, 148, p. 632-633 (2008).
- [157] Analytica EBC. – Convention européenne de brasserie, 5^e éd. Gzundwerk, 1988.
- [158] RYDER (D.S.), DANIS (C.R.), ANDERSON (D.), GLANCY (F.M.) et POWER (J.M.). – Brewing experience with crossflow filtration, MBAA Technical Quarterly, 25, pp. 67-69, 1988.
- [159] SCHNEEBERGER (M.), KROTTENTHALER (M.) et BACK (W.). – Methods of recovering barm beer from excess yeast. Brauwelt Int., 5, p. 288-292 (2006).
- [160] MEINHOLD (O.), THIEK (Th.) et METHNER (F.J.). – Enhanced Filtration performances for sterile filtration of beer with modified membranes reducing the fooling process. 30th EBC Congress, Prague, 2005.
- [161] BLANPAIN (P.), HERMIA (J.) et LENOËL (M.). – Mechanisms governing permeate flux and protein rejection in the microfiltration of beer with a cyclopore membrane. Journal of Membrane Science 84, 1993, p. 37-51.
- [162] GAN (Q.), HOWELL (J.), FIELD (R.W.), ENGLAND (R.) et BIRD (M.). – Fouling and backflush in beer clarification using ceramic membranes. Trans IChemE, Food Process Engineering Conference, Bath (Royaume Uni), 19-21 septembre 1994, p. 1-11.
- [163] GAUB (R.), DENNIGER (H.), SCHNIEDER (G.) et ZIEHL (J.). – Qualitative Aspekte des keiselguhrfreien Bierfiltration. Teil 1 Untersuchung des chemisch-technischen Parameter. Brauwelt, 146, p. 340-343 (2006).
- [164] SNYDER (J.) et GAUB (R.). – PROFi process for diatomaceous earth replacement. MBAA Technical Quarterly, 42, p. 65-69 (2005).
- [165] MODROK (A.), WEBER (D.), DIEL (B.) et RODENBERG (M.). – Crossflow filtration of beer – A true alternative to diatomaceous earth filtration. In : World Brewing Congress, San-Diego, California, USA (2004).
- [166] GAUB (R.). – Criteria for fine and sterile filtration of beer. Brauwelt International, 5, p. 448-457 (1993).
- [167] SCANLON (M.). – Cartridge designed to optimize the sterile filtration of beer. Filt. Sep., July/August, 26-27 (2004).
- [168] KROTENTHALER (M.), ZANKER (G.), GAUB (R.) et BACK (W.). – Sterile filtration of beer by membranes Economical and physical aspects. 29^e EBC Congress Dublin (2003).
- [169] TRÄGÄRDH (G.) et WAHLGREN (P.-E.). – Removal of bacteria from beer using crossflow microfiltration. In Proceedings "First International Conference on Inorganic Membranes", Montpellier (1989).
- HAJIPOUR (M.), SOLTANIEH (M.) et YADANSHENAS (M.). – Investigation of membrane fouling in crossflow microfiltration of non-alcoholic beer and modeling of tubular membrane flow. Desalination, 251, p. 20-28 (2010).
- ALICIEO (T.V.R.), MENDES (E.S.), PEREIRA (N.C.), BARROS (S.T.D.), DE INNOCENTI (T.D.) et DE ALVES (J.A.). – Analysis of the use of a 0,2 µm ceramic membrane for beer clarification. Acta Scientiarum Technology, 30, p. 181-186 (2008).
- VAN RIJN (C.J.M.) et RASPE (O.). – Membrane technology, nanotechnology and beer filtration. Food manufacturing Efficiency, 1, p. 29-32 (2008).
- ALICIEO (T.V.R.), MENDES (E.S.), PEREIRA (N.C.), BARROS (S.T.D.) et DE ALVES (J.A.). – Evaluation of fouling in beer microfiltration : a study of resistances. Acta Scientiarum Technology, 29, p. 151-156 (2007).
- BROENS (L.), BRUNACKER (J.), EISENBLÄTTER (F.), KUNZ (Th.), LIEBL (K.), MEPSCHEN (A.), METHNER (F.-J.), METZ (L.) et SCHUURMAN (R.). – Beer membrane filtration : its positive effect on taste and colloidal stability. In : Fachverlag Hans Carl Editor. Proceedings EBC 2007, Venice, Italy (2007).
- LIPNIZKI (F.), NIELSEN (C.), BETCKE (R.) et CAPRIO (J.D.). – Food and bev : anyone for a tasty beverage ? Filtration and Separation, 43, p. 14-18 (2006).
- RUST (U.), PESCHMANN (P.) et MAIWALD (D.). – Neueste Erkenntnisse bei der Cross-Flow-Membran-Bierfiltration. Brauwelt, 145, p. 1408-1413 (2005).
- DAVIES (K.) et MURTON (D.). – Beer filtration : theory and practice. Brewer Int., 4(1), p. 10-16 (2004).
- WAIMWRIGHT (T.). – Crossflow membrane technology challenges keiselguhr's dominant. Brewer's Guardian, 132(7), p. 26-28 (2003).
- RIDDELL (P.). – Sterile filtration of beer : the PES story. The Brewer Int., 2(11), p. 31-35 (2002).
- DAUFIN (G.), RENÉ (F.) et AIMAR (P.). – Les séparations par membranes dans les procédés de l'industrie alimentaire. 592 p., Lavoisier Tec. et Doc. Paris (1998).
- FILLAUDEAU (L.). – Microfiltration tangentielle de la bière de garde sur des membranes céramiques multicanaux. 135 p. Thèse de doctorat, université de technologie de Compiègne 60205 Compiègne (1998).
- FILLAUDEAU (L.) et LALANDE (M.). – A practical method to predict steady-state flux and fouling in the crossflow microfiltration of rough beer with 1.40 µm tubular membranes. Trans IChemE, vol. 76, Part C., december 1998, p. 1-8.
- BLANPAIN (P.) et LALANDE (M.). – Investigation of fouling mechanisms governing permeate flux in the crossflow microfiltration of beer. Filtration and Separation 34 , n° 10, décembre 1997, p. 1065-1069.
- GAN (Q.), FIELD (R.W.), BIRD (M.R.), ENGLAND (R.), HOWELL (J.A.), McKECHNIE (M.T.) et O'SHAUGNESSY (C.L.). – Beer clarification by crossflow microfiltration : Fouling mechanisms and flux enhancement. Trans IChemE, Part A, 75, p. 3-8 (1997).
- GAN (Q.), HOWELL (J.), FIELD (R.W.) et ENGLAND (R.). – Development of high performance crossflow microfiltration for beer clarification using ceramic membranes. Proceedings of Euromembrane'95, Bath (Royaume Uni), Vol. 2, 18-20 septembre 1995, p. 25-30.
- PIRON (E.), RENÉ (F.) et LATRILLE (E.). – A cross-flow microfiltration model based on integration

Autres ouvrages

- of the mass transport equation. *Journal of Membrane Science* 108, p. 57-70 (1995).
- XU-JIANG (Y.), DODDS (J.), LECLERC (D.) et LENOAL (M.). – A technique for the study of the fouling of microfiltration membranes using two membranes in series. *Journal of Membrane Science* 105, p. 23-30 (1995).
- WENTEN (I.G.). – Mechanisms and control of fouling in crossflow microfiltration. *Filtration and Separation*, 32, n° 3, mars 1995, p. 252-253.
- BLANPAIN (P.), RENÉ (F.), LEULIET (J.C.), LANDE (M.), CHAUFER (B.) et CUEILLE (G.). – Use of polymer coated membranes in beer microfiltration. *Trans IChemE, Food Process Engineering Conference*, Bath (Royaume Uni), 19-21 septembre 1994, p. 55-63.
- BURREL (K.), GILL (C.), McKECHNIE (M.) et MURRAY (J.). – Advances in separations technology for the brewer. *Ceramic crossflow microfiltration of rough beer*. MBAA Technical Quarterly, 31, n° 2, p. 42-50 (1994).
- CUEILLE (G.), LEULIET (J.C.) et RENÉ (F.). – Abrégé du contenu technique de l'invention : microfiltration de la bière. Brevet européen n° 95400090.7 (1994).
- DUCHEK (P.). – Membranes for filtration of beer and other beverages. *Brauwelt Int.*, 14, p. 49-58 (1994).
- LEEDER (G.) et GIRR (M.). – Crossflow microfiltration for processing brewery tank bottoms. *MBAA Technical Quarterly*, 31, n° 2, p. 58-63 (1994).
- LENOËL (M.), BLANPAIN (P.) et TAYLOUR (J.). – Rational design of a cleaning procedure for microfiltration membranes. *MBAA Technical Quarterly*, 31, p. 134-137 (1994).
- McKECHNIE (M.), BURREL (K.), GILL (C.), KOTZIAN (R.) et O'SULLIVAN (P.). – Ceramic membrane filtration of beer. *Trans IChemE, Food Process Engineering Conference*, Bath (Royaume Uni), 19-21 septembre 1994, p. 47-53.
- WENTEN (I.G.), KOENHEN (D.M.), ROESINK (H.D.W.), RASMUSSEN (A.) et JONSSON (G.). – The backshock process : a novel backflush technique in microfiltration. *Proceedings of the 2nd International Conference on Engineering of Membrane Processes (Italie)* Avril 1994, Elsevier Science Publishing Co. Inc. New York.
- XU-JIANG (Y.). – Contribution à l'étude de la microfiltration : application à la clarification de la bière. Thèse de l'Institut national polytechnique de Lorraine (INPL), École nationale supérieure des industries chimiques (ENSIC), Nancy, 19 avril 1994.
- WENTEN (I.G.), RASMUSSEN (A.) et JONSSON (G.). – Membrane cleaning after beer clarification. *Proceedings of the 2nd International Conference on Engineering of Membrane Processes (Italie)*, avril 1994, Elsevier Science Publishing Co. Inc. New York.
- BÜHLER (T.M.), BURREL (K.), EGGARS (H.U.) et REED (R.J.R.). – The application of membranes for new approaches to brewery operations. *Proceedings of the 24th EBC Congress*, Oslo (Norvège), p. 691-700, Verlag Hans Carl, Postfach 990153, 90268 Nurnberg (Allemagne) (1993).
- LENOËL (M.), BLANPAIN (P.) et SHINGLETON (M.). – Modélisation de la microfiltration tangentielle de bière sur membranes. *Compréhension du mécanisme de colmatage*. *Proceedings of the 24th EBC Congress*, Oslo (Norvège), p. 683-690, Verlag Hans Carl, Postfach 990153, 90268 Nurnberg (Allemagne) (1993).
- MARSHALL (A.D.), MUNRO (P.A.) et TRÅGARDH (G.). – The effect of protein fouling in microfiltration and ultrafiltration on permeate flux, protein retention and selectivity : A literature review. *Desalination*, 91, p. 65-108 (1993).
- DAOUD (I.). – Crossflow filtration : An alternative for mash separation. *The Brewhouse BDI*, mai 1992, p. 18-19.
- GIRR (M.) et LEEDER (G.). – Beer recovery from tank bottoms using cross-flow microfiltration. *The commercial reality*. *Brewer's Guardian*, février 1992, p. 19-22.
- GIRR (M.) et LEEDER (G.). – Beer recovery from tank bottoms using cross-flow microfiltration. *The commercial reality*. *Brewer's Guardian*, 121(2), p. 19-22 (1992).
- KIEFER (J.). – Crossflow filtration of beer. *Proceedings of the 23rd EBC Congress*, Lisbon (Portugal), p. 657-664, Verlag Hans Carl, Postfach 990153, 90268 Nurnberg (Allemagne) (1991).
- LENOËL (M.). – Beer recovery from yeast slurries and tank bottoms from pilot to industrial results. *EBC Symposium on Separation Processes*, Monograph XVI, Leuven, Belgique Verlag Hans Carl, Nurnberg, Allemagne, p. 128-139 (1990).
- WALLA (G.) et DONHAUSER (S.). – Filtration of beer and residual beer with crossflow microfiltration. *Proceedings of the Vth World Filtration Congress*, Nice (France), Vol. 1, 5-8 juin 1990, p. 64-69, 21 avenue de la Division Leclerc F-94230 Cachan.
- DONHAUSER (S.), WAGNER (D.) et WALLA (G.). – Praktische Erfahrungen mit neuen Filtersystemen. *Mitteilungen der Versuchsstation für das Gärungsgewerbe in Wien*, 43, p. 80-88 (1989).
- DONHAUSER (S.), WAGNER (D.) et WALLA (G.). – Praktische Erfahrungen mit neuen Filtersystemen. *Mitteilungen der Versuchsstation für das Gärungsgewerbe in Wien*, n° 7/8, p. 80-88 (1989).
- FINNIGAN (T.), SHACKLETON (R.) et SKUDDER (P.). – Using ceramic microfiltration for the filtration of beer and recovery of extract. *Filtration and Separation*, mai-juin 1989, p. 198-200.
- HANSEN (N.L.). – Recovery of beer from surplus yeast by membrane filtration. *MBAA Technical Quarterly*, 26, p. 8-13 (1989).
- NIELSEN (C.E.). – Microfiltration route to recovering beer from tank bottoms. *Brewing and Distilling International*, septembre 1989, p. 20-21.
- PETIOT (P.). – Microfiltration tangentielle de bière sur membrane minérale. 74 p. (1989). Diplôme d'études approfondies (DEA) en génie chimique, option génie des procédés agroalimentaires, F-91744 Massy.
- REED (R.J.R.), EVANS (S.P.), TAYLOR (D.G.) et ANDERSON (H.J.). – Single stage down-stream processing of beer using pulsed cross-flow filtration. *Proceedings of the 22nd EBC Congress*, Zürich (Suisse), p. 413-424, Verlag Hans Carl, Postfach 990153, 90268 Nurnberg (Allemagne) (1989).
- REED (R.). – *Advances in Filtration*. The Brewer, septembre 1989, p. 965-970.
- AIMAR (P.), TADDEI (C.), LAFAILLE (J.P.) et SANCHEZ (V.). – Mass transfer limitations during ultrafiltration of cheese whey with inorganic membranes. *Journal of Membrane Science*, 38, p. 203-221 (1988).
- LETESSON (P.). – Microfiltration tangentielle sur module plan. Application à la filtration de la bière. *Congrès FILTRA 88*, 18-20 octobre 1988, Paris, p. 478-49.
- MYLIUS (U.V.) et REITER (A.). – Waste beer recovery and yeast concentration by crossflow microfiltration. *Brauwelt International*, p. 68-71 (1988).
- NOBLE (C.S.). – Beer Filtration : Current practice and future technologies. *Ferment* 1, n° 2, p. 35-39 (1988).
- LE (M.S.). – Recovery of beer from tank bottoms with membranes. *J. Chem. Tech. Biotechnol.*, 37, p. 59-66 (1987).
- O'REILLY (S.M.G.), LUMMIS (D.J.), SCOTT (J.) et MOLZAHN (S.W.). – The application of ceramic filtration for the recovery of beer from tank bottoms and in beer filtration. *Proceedings of the 21st EBC Congress*, Madrid (Espagne), p. 639-647, Verlag Hans Carl, Postfach 990153, 90268 Nurnberg (Allemagne) (1987).
- WAGNER (D.), DONHAUSER (S.) et WALLA (G.). – Crossflow Mikrofiltration (CMF) von Hefen auf Bier. *Filtration ohne Kieselgureinsatz*. *Proceedings of the 21st EBC Congress*, Madrid (Espagne), p. 631-638, Verlag Hans Carl, Postfach 990153, 90268 Nurnberg (Allemagne) (1987).
- REED (R.J.R.) et LEEDER (G.I.). – Crossflow filtration in brewing. *Brewer's Guardian*, p. 15-18 (1986).
- CANTRELL (I.C.), DICKENSON (C.J.), HOMER (K.) et LOWE (C.M.). – The recovery of beer from yeast and other processing residue by ultrafiltration. *Proceedings of the 20th EBC Congress*, Helsinki (Suède), p. 691-698, Verlag Hans Carl, Postfach 990153, 90268 Nurnberg (Allemagne) (1985).
- MIETTON-PEUCHOT (M.) et BEN AIM (R.). – Microfiltration tangentielle des boissons : influences des caractéristiques hydrodynamiques. *Le Lait*, 64, p. 121-128 (1984).

À lire également dans nos bases

FILLAUDEAU (L.), BLANPAIN-AVET (P.) et MOLL (M.). – *Techniques en brasserie, opportunités et*

réalités des procédés membranaires. [F 3 261] (2011).

FILLAUDEAU (L.) et BLANPAIN-AVET (P.). – *Secteur brasserie – Caractéristiques technico-économiques*. [F 6 210] (1999).

Événements

- EBC
- MBAA-ASBC
- WBC

Règlementations

AFSSA – Avis relatif à l'autorisation d'emploi de polyamide 11 en tant qu'adjuvant de filtration dans la bière – Saisines n° 2003-SA-0253 et n° 2002-SA-0196, le 9 décembre 2003, République Française (2003).

AFSSA – Avis relatif à la demande d'autorisation d'emploi de perlite en tant qu'auxiliaire technologique en brasserie. Saisine n° 2008-SA-0384, le 30 mars 2009, République Française (2009).

AFSSA – Avis relatif à la demande d'autorisation d'emploi de charbon actif en tant qu'auxiliaire technologique en brasserie. Saisine n° 2008-SA-0385, le 30 mars 2009.

AFSSA – Avis relatif à la demande d'autorisation d'emploi de cellulose en tant qu'auxiliaire technologique en brasserie. Saisine n° 2008-SA-0386, le 30 mars 2009, République Française (2009).

AFSSA – Avis de l'Agence de sécurité sanitaire des aliments relatif à la demande d'autorisation d'emploi d'un mélange de polystyrène et de polyvinylpyrrolidone réticulée obtenu par un procédé particulier en tant qu'auxiliaire technologique dans le procédé de fabrication et de filtration de la bière et des produits à base de bière, à la suite de l'avis AFSSA du 4 avril 2008.

AFSSA – Saisines n° 2008-SA-0370 et 2006-SA-0160, le 9 avril 2009, République Française (2009).

AFSSA – Avis de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments sur un projet d'arrêté modifiant l'arrêté du 19 octobre 2006 relatif à l'emploi d'auxiliaires technologiques dans la fabrication des certaines denrées alimentaires. Saisines n° 2009-SA-0164, 2008-SA-0066 et 2009-SA-0068, le 16 juillet 2009, République Française (2009).

Arrêté du 19 octobre 2006 relatif à l'emploi d'auxiliaires technologiques dans la fabrication de certaines denrées alimentaires. Journal officiel de la république française, 2 décembre 2006, NOR : ECOC0600115A (2006).

Arrêté du 19 octobre 2006 relatif aux matériaux et objets en matière plastique mis ou destinés à être mis au contact des denrées, produits et boissons alimentaires. Journal officiel de la république française, 10 novembre 2006, NOR : ECOC0600107A (2006).

Arrêté du 21 juillet 2004 relatif aux additifs pouvant être employés dans la fabrication des denrées destinées à l'alimentation humaine. Journal officiel de la république française, 15 août 2004, NOR : ECOC9700107A (2004).

Annuaire

Laboratoires de recherche, centres techniques et associations structurantes de la filière

Brewers of Europe (regroupe l'ensemble des associations nationales des brasseurs)
<http://www.brewersofeurope.org>

EBC (European Brewery Convention) est la structure traitant les aspects scientifiques et techniques au sein des « Brewers of Europe »

Web
<http://www.europeanbreweryconvention.org>

Association des Brasseurs de France (FR)
<http://www.brassiers-de-france.com>

IFBM 7
<http://www.ifbm.fr>

Centre Technique et Scientifique de la Brasserie, de la Malterie et des Industries Connexes (CBM)
<http://www.beerparadise.be>

Campden BRI (Nutfield site)
<http://www.bri-advantage.com>

Technische Universität München (TUM)
<http://www.wzw.tum.de>

Fournisseurs et industriels

KHS AG
<http://www.khs.com>

Filtrox AG
<http://www.filtrox.com>

Norit Process Technology
<http://www.noritpt.com>

Pall Corporation
<http://www.pall.com>

Alfa Laval Corporate
<http://www.alfalaval.com>

GEA Westfalia Separator Industrie SAS
<http://www.westfalia-separator.fr>

Millipore Corp.
<http://www.millipore.com>

Sartorius AG
<http://www.sartorius.com>

BASF AG
<http://www.basf.com>

FluXXion BV
<http://www.fluxion.com>

Données économiques

■ Une **synthèse non exhaustive des principaux travaux de la littérature relative à l'application des procédés par membranes en brasserie, publiée entre 1984 et 1998**, a été réalisée (tableau 1 [Doc. F 3 260] en archive. Ces publications sont complétées par des travaux faisant état d'observations expérimentales ou de modélisations (tableau 2). Les orientations choisies sont communes à tous les procédés de filtration sur membrane, à savoir :

- comprendre et limiter les mécanismes de colmatage impliquant une réduction des performances ;
- rechercher des conditions opératoires optimales ;
- définir la capacité des membranes à être régénérées et nettoyées.

La majorité des travaux existants a tenté de lever le **verrou technologique rétention-perméation** afin d'aboutir à des flux dits « économiques », et à une qualité de bière filtrée identique à celle du procédé conventionnel. Les études précédemment décrites couvrent un large champ d'investigation :

- **fluides** : bière clarifiée (BC), bière de garde (BDG), fonds de tank de garde (FTG) et de fermentation (FTF) ;
- **géométrie** : membrane plane, membrane tubulaire ;
- **nature** : organique et minérale ;
- **diamètre des pores** : 0,1 à 0,6 µm ;

- **mode de travail** : ruissellement (98 % des travaux), cocourant (2 %) ;
- **écoulement** : sans et avec perturbations (chicane, contre-lavage) ;
- **pression transmembranaire** : 0,3 à 3 bar ;
- **vitesse de circulation du rétentat** : 0,5 à 6 m · s⁻¹.

Globalement, les bières présentent des variations sensibles de composition et de qualité en fonction de leur nature, de leur origine et de la brasserie ; aussi la comparaison des résultats obtenus reste difficile. Cependant, certains éléments de réponse quant à l'application de la microfiltration tangentielle en brasserie se dégagent de cette synthèse. (Pour aller plus loin, le lecteur peut se reporter à la [Doc. F 3 260] archivée.)

■ Pour les questions relatives aux :

- densités de flux de perméation ;
- choix des membranes ;
- mécanismes d'encrassement ;
- nettoyage et régénération des membranes.

se reporter à la [Doc. F 3 260] et article [F 3 260] archivés dans les anciennes bases T.I.

Tableau 1 – Synthèse des publications scientifiques sur l'application de la microfiltration tangentielle en brasserie (4)

Nom, année	Membrane			Fluide produit	Conditions opératoires				Résultats			Remarques	
	Nom (nature)	Diamètre de pore (mm)	Forme (1)		(2)	Mode (3)	Vitesse (m · s ⁻¹)	Température (°C)	Pression (bar) (1 bar = 10 ⁵ Pa)	Densité de flux (L · h ⁻¹ · m ⁻²)	Trouble (unité EBC)		
											avant filtration	après filtration	
Mietton-Peuchot, 1984	Nucléopore (polycarbonate)	0,2	P	BDG	R	2,5	5	0,5	28	12	0,64	Diminution rapide de la densité de flux dans les 10 à 15 premières minutes, stabilisation apparente ensuite.	
		0,4	P	BDG	R	2,5	5	0,5	« 264 »	12	1,5		
		0,4	P	BDG	R	1,6	5	0,5	18	17	0,28		
	Ceraver (céramique)	0,2	P	BDG	R	2,5	5	0,5	18	12	0,6		
	Versapor (acrolonitrile + polychlorure de vinyl PVC)	0,45	P	BDG	R	1,6	5	0,5	16	17	0,36		
Cantrel <i>et al.</i> , 1985	APV (céramique)	0,20	T	FTG	R	2,9 à 3,9			< 20			Déclin rapide de la densité de flux, pas de perte de coloration.	
Le, 1987	Asypor	0,20	P	FTG	R	2	5 à 15	1,4	32		0,03	Le trouble est donné en UA (A ₅₉₅ : absorbance à 595 nm). Diminution rapide de la densité de flux dans les 20 premières minutes. Effet contradictoire de la vitesse et de la pression.	
		0,45	P	FTG	R	2	5 à 15	1,4	25		0,03		
		0,45	P	FTG	R	2	5 à 15	2,8	20		0,9		
		0,80	P	FTG	R	2	5 à 15	1,4	20		0,03		
		0,80	P	FTG	R	2	5 à 15	2,8	38		1,1		
		1,20	P	FTG	R	2	5 à 15	1,4	3		0,03		
		0,45	P	FTF	R	1	5 à 15	1,4	55		1,1		
		0,80	P	FTF	R	1	5 à 15	1,4	40		0,03		
O'Reilly <i>et al.</i> , 1987	APV (céramique)	0,2 à 5	T	FTG	R	4 à 8	4		20 à 40		1 à 5	Concentration massique en matière sèche du rétentat jusqu'à 20 %. 1,8 µm donne le maximum d'extrait.	
		0,2 à 5	T	BDG	R	4 à 8	0		100 à 150			La taille de pore est cruciale pour la couleur, l'amertume, la rétention et la densité de flux.	
Wagner <i>et al.</i> , 1987	(polypropylène)	0,20	T	BDG	R	2,4	1		15			Pression optimale : 1,5 bar. La MFT fournit une qualité équivalente à la filtration conventionnelle mais avec une augmentation du degré d'atténuation et des substances amères.	
		0,20	T	BDG	R	3,5	1		21				
		0,20	T	BDG	R	4,7	1		31				
		0,20	T	BDG	R	5,6	1		43,5				
		0,20	T	FTG	R	2,4	10		22,6				
		0,20	T	FTG	R	3,5	10		27,9				
		0,20	T	FTG	R	4,7	10		40,1				
Letesson, 1988	CYCLOPORE (organique)	0,20 (25/50)	P	BC	R	1	0	0,8	62/49			(25/50) : épaisseur de la peau sélective (µm). Importance de l'épaisseur de la peau sélective et du diamètre de pore. Meilleur comportement des membranes à petit diamètre de pore en ce qui concerne l'encrassement. Altération de la qualité de la bière.	
		0,40 (25/50)	P	BC	R	1	0	0,8	61/152				
		0,60 (25/50)	P	BC	R	1	0	0,8	44/197				
		0,20 (25/50)	P	BC	R	5	0	0,8	130/87				
		0,40 (25/50)	P	BC	R	5	0	0,8	250/260				
		0,60 (25/50)	P	BC	R	5	0	0,8	320/350				
	Durapore (organique)	0,45	P	BC	R	5	0	0,8	« 1500 »				
		0,65	P	BC	R	5	0	0,8	« 490 »				
	ORELIS (organique)	0,40	P	BC	R	5	0	0,8	120				
		0,80	P	BC	R	5	0	0,8	27				
Mylius et Reiter, 1988	(céramique)		T	FTG	R	4	10	1,0	20			Diminution de l'amertume durant la filtration. Concentration massique en matière sèche jusqu'à 20 %	

(1) P : plan. T : tubulaire

(2) BC : bière clarifiée. BDG : bière de garde. FTF : fond de tank de fermentation. FTG : fond de tank de garde. RE : récupération d'extrait

(3) R : ruissellement. CC : cocourant. RC : ruissellement avec chicanes. R + BF : ruissellement + rétrolavage périodique. RI : ruissellement avec une membrane inversée

(4) Les guillemets indiquent des valeurs numériques anormalement élevées par rapport aux autres travaux réalisés dans des conditions expérimentales comparables.

Tableau 1 – Synthèse des publications scientifiques sur l'application de la microfiltration tangentielle en brasserie (4) (suite)

Nom, année	Membrane			Fluide produit	Conditions opératoires				Résultats			Remarques
	Nom (nature)	Diamètre de pore (mm)	Forme (1)		(2)	Mode (3)	Vitesse (m · s ⁻¹)	Température (°C)	Pression (bar) (1 bar = 10 ⁵ Pa)	Densité de flux (L · h ⁻¹ · m ⁻²)	Trouble (unité EBC)	
										avant filtration	après filtration	
Noble, 1988	APV (céramique)	0,2 à 5	T	FTF	R		4 à 20		20-30			Concentration massique en matière sèche de 12 à 22 %. Critère de sélection des membranes : < 0,80 µm : clarification non satisfaisante, < 0,80 µm : perte de matière.
		0,5 à 1,90	T	BDG	R	6	- 1					
Ryder et al., 1988	AMICON (loplate)	≈ 0,003	P	RE	R		75					BC : colmatage très important pour l'obtention d'une bière stérile. FTG : température, vitesse et pression sont les facteurs influençant clairement la densité de flux.
		0,45	P	FTG	R		0					
		0,22 à 3	P	BC	R		0					
Reed, 1989	ENKA (polypropylène)	0,20	T	BDG	R + BF	2	1	0,4	7			La turbulence favorise la filtration. Il existe une pression limite au-delà de laquelle la densité de flux chute. Les performances de la MFT dépendent du contrôle de la couche de polarisation.
		0,20	T	BDG	R + BF	2,7	1	0,7 à 0,8	10			
		0,20	T	BDG	R + BF	3	1	0,7 à 0,8	15			
		0,20	T	BDG	R + BF	3	1	2,0	4			
		0,20	T	BDG	R + BF	3,5	1	0,7 à 0,8	18			
		0,20	T	BDG	R + BF	3,5	1	2,0	8			
		0,20	T	BDG	R + BF	4	1	0,012 à 1,6	11			
		0,20	T	BDG	R + BF	4,5	1	0,012 à 1,6	15			
Donhauser et al., 1989	(polypropylène)	0,20	T	BDG	R	2	0	1,5	15,4			
		0,45	T	BDG	R	2	0	1,5	31,4			
		0,45	T	FTG	R	5	0	1,5	40			
	(céramique)	0,10	T	FTG	R	4	0	1,5	5			
		0,50	T	FTG	R	4	0	1,5	17			
		0,80	T	FTG	R	4	0	1,5	30			
		1,80	T	FTG	R	4	0	1,5	61			
Finningan et al., 1989	APV (céramique)	0,12 à 1,80	T	FTG	R		20 à 25	4,0	20	> 11	> 1	Concentration massique en matière sèche du rétentat jusqu'à 26 %
Reed et al., 1989		0,20 à 0,45	T	BDG	R		1		20 à 30		< 1	0,20 µm pour une pasteurisation mais économiquement viable. 0,80 µm pour la récupération. Concentration massique maximum en matière sèche 27 %.
		1,60	T	BDG	R		1		150 à 200		> 1	
		1,60	T	FTG	R							
Hansen, 1989	DDS (difluorure de polyvinylidène PVDF)	1,0	P	FTG	R		15		15		> 5	Concentration massique en matière sèche de 10 à 23 %. Procédé viable pour la récupération de FTG.
Nielsen, 1989	DDS (PVDF)		P	FTG	R		5 à 15		15 à 20			Forte rétention sur le trouble et les levures.
			P	FTF	R		5 à 15		8 à 10			
Petiot, 1989	ORELIS (zircone-carbone)	0,50	T	BDG	R	3	0 à 5	1,5	18			Comportement identique de la bière de garde et de la BC. La vitesse a un effet positif sur la densité de flux. Les faibles pressions sont favorables à un perméat correct.
		0,50	T	BDG	R	3	0 à 5	3,0	30			
		0,50	T	BDG	R	3	0 à 5	5,0	42			
		0,50	T	BDG	R	5	0 à 5	1,5	28			
		0,50	T	BDG	R	5	0 à 5	3,0	40			
		0,50	T	BDG	R	7	0 à 5	1,5	32			
		0,50	T	BDG	R	7	0 à 5	3,0	57			

(1) P : plan. T : tubulaire

(2) BC : bière clarifiée. BDG : bière de garde. FTF : fond de tank de fermentation. FTG : fond de tank de garde. RE : récupération d'extrait

(3) R : ruissellement. CC : cocourant. RC : ruissellement avec chicanes. R + BF : ruissellement + rétrolavage périodique. RI : ruissellement avec une membrane inversée

(4) Les guillemets indiquent des valeurs numériques anormalement élevées par rapport aux autres travaux réalisés dans des conditions expérimentales comparables.

Tableau 1 – Synthèse des publications scientifiques sur l'application de la microfiltration tangentielle en brasserie (4) (suite)

Nom, année	Membrane			Fluide produit	Conditions opératoires				Résultats			Remarques
	Nom (nature)	Diamètre de pore (mm)	Forme (1)		(2)	Mode (3)	Vitesse ($m \cdot s^{-1}$)	Température (°C)	Pression (bar) (1 bar = 10^5 Pa)	Densité de flux ($L \cdot h^{-1} \cdot m^{-2}$)	Trouble (unité EBC)	
										avant filtration	après filtration	
Lenoël, 1990	SCT (céramique)	0,80	T	FTG	R	3	15	2,0	24			La densité de flux donnée est la densité initiale. La bière récupérée peut être utilisée en bière de coupage. Le projet est économiquement viable. Conditions optimum : $3 m \cdot s^{-1}$ et $0,80 \mu m$.
		0,80	T	FTG	R	4	15	2,0	27			
		0,80	T	FTG	R	5	15	2,0	25			
		0,45	T	FTG	R	3	5	2,0	47			
		0,80	T	FTG	R	3	5	2,0	25 à 30			
		1,40	T	FTG	R	3	5	2,0	65			
Walla et Donhauser, 1990	(polypropylène)	0,40-3 mm	T	BC	R + BF	2/4/5	0	1,5	21/35/55			Le diamètre de pore maximum pour effectuer une filtration stérilisante est $0,45 \mu m$. 3 mm, 1,2 mm et 1,8 mm font référence à l'épaisseur de membrane. La réduction des polyphénols, anthocyanogènes et de la mousse est négligeable. La couleur reste constante.
		0,40-3 mm	T	BC	R + BF	2	0	0,5	16			
		0,40-3 mm	T	BC	R + BF	1/2	0	1,0	17/26			
		0,40-3 mm	T	BC	R + BF	1/2	0	1,5	24/29			
		0,40-3 mm	T	BC	R + BF	1/2	0	2,0	23/27			
		0,40-1,2 mm	T	BC	R	2	0		30,4			
		0,40-1,2 mm	T	BC	R + BF	2	0		35,7			
		0,20-1,2 mm	T	BC	R	2	0		13,2			
		0,20-1,2 mm	T	BC	R + BF	2	0		13,8			
		0,20-1,8 mm	T	BC	R	2	0		14,3			
0,20-1,8 mm	T	BC	R + BF	2	0		21,2					
Girr et Leeder, 1992	(polysulfone)	0,10	T	FTG			10		15 à 25			Concentration massique maximum en matière sèche de 10 à 20 %.
Bühler et al., 1993	CERAMEM (céramique)	0,50	T	BDG	R				10-30		< 0,5	1,30 μm paraît convenir pour une FTG.
		1,30	T	FTG	R				30-35		3-5	
		1,30	T	RE	R			1,3	100			
Gan et al., 1994	CERAMEM (céramique)	0,50	T	BDG	R	0,75	-0,2	0,3	5			Mécanismes de colmatage compliqués. Mise en évidence de trois types de colmatage : dépôt de particules à la surface, particulièrement à l'entrée des pores ; adsorption irréversible et partiellement réversible à la surface des pores et dépôt de particules à l'intérieur des pores. Le <i>backflush</i> améliore considérablement les performances en éliminant périodiquement le colmatage réversible.
		0,50	T	BDG	R	0,75	-0,2	0,6	6			
		0,50	T	BDG	R	0,75	-0,2	0,8	7			
		0,50	T	BDG	R	0,75	-0,2	1,15	7			
		0,50	T	BDG	R	0,75	-0,2	1,3	7			
		0,50	T	BDG	R + BF	0,75	-0,2	0,3	9			
		0,50	T	BDG	R + BF	0,75	-0,2	0,6	15			
		0,50	T	BDG	R + BF	0,75	-0,2	0,8	17			
		0,50	T	BDG	R + BF	0,75	-0,2	1,15	26			
0,50	T	BDG	R + BF	0,75	-0,2	1,3	28					

(1) P : plan. T : tubulaire

(2) BC : bière clarifiée. BDG : bière de garde. FTG : fond de tank de fermentation. FTG : fond de tank de garde. RE : récupération d'extrait

(3) R : ruissellement. CC : cocourant. RC : ruissellement avec chicanes. R + BF : ruissellement + rétro-lavage périodique. RI : ruissellement avec une membrane inversée

(4) Les guillemets indiquent des valeurs numériques anormalement élevées par rapport aux autres travaux réalisés dans des conditions expérimentales comparables.

Tableau 1 – Synthèse des publications scientifiques sur l'application de la microfiltration tangentielle en brasserie (4) (suite)

Nom, année	Membrane			Fluide produit	Conditions opératoires				Résultats			Remarques
	Nom (nature)	Diamètre de pore (mm)	Forme (1)		(2)	Mode (3)	Vitesse (m · s ⁻¹)	Température (°C)	Pression (bar) (1 bar = 10 ⁵ Pa)	Densité de flux (L · h ⁻¹ · m ⁻²)	Trouble (unité EBC)	
										avant filtration	après filtration	
Burrell et al., 1994 McKech-nie et al., 1994	CERAMEM (céramique)	0,50	T	BDG	R	2,2	< 3	0,75	7,6		< 0,65	Aucun avantage à travailler au-delà de 2,2 m · s ⁻¹ . La densité de flux augmente avec la taille de pore. 0,50 µm donne une bonne qualité de bière. 1,00 µm donne un trouble plus élevé. 1,30 µm entraîne une détérioration du filtrat.
		0,50	T	BDG	R	2,2	< 3	1,3	20,7		< 0,65	
		0,50	T	BDG	R	2,2	< 3	2,7	10		< 0,65	
		0,50	T	BDG	R	2,2	< 3	1,3	8 à 36		< 0,65	
		1,00	T	BDG	R	2,2	< 3	1,3	46		0,5-0,75	
		1,30	T	BDG	R	2,2	< 3	1,3	54		0,60-3	
	0,50	T	FTG	R	1,5	< 3	1,3	5,1		0,25	La charge du produit est cruciale pour les performances de la filtration. Mise en évidence d'un mécanisme de colmatage des pores. Les hydrates de carbone, les β-glucanes et les particules d'amidon affectent clairement les performances (colmatage).	
	0,50	T	FTG	R	2,2	< 3	1,3	13,2		0,6		
	0,50	T	FTG	R	2,2	< 3	1,3	36,0		0,55		
0,50	T	FTG	R	3,5	< 3	1,3	23,6		0,55			
Wenten et al., 1994	XFLOW (polyether-sulfone hydrophile ; membrane inversée)	0,60	T	FTG	R + BF	< 0,5	-1	< 0,1	200			Membrane inversée. L'augmentation de pression n'améliore pas la densité de flux. Colmatage par blocage des pores.
Xu-Jiang, 1994	ORELIS (Pléiade PVDF)	0,20	P	BDG	R	2,5	0 à 2	0,5 à 1	8,6 à 3,1			Densité de flux inférieure à 40 L · h ⁻¹ · m ⁻² . La rétention et le colmatage peuvent être interprétés comme dépendant de la capacité d'adsorption de la membrane.
		0,40	P	BDG	R	1 à 2,5	0 à 2	0,5	6,7 à 13,9			
		0,40	P	BDG	R	2,5	0 à 2	0,7	11			
		0,40	P	BDG	R	1,5 à 3	0 à 2	1,0	7,4 à 12,6			
		0,80	P	BDG	R	2,5	0 à 2	0,5 à 0,7	2,0 à 9,3			
Cueille et al., 1994	ORELIS (PVDF)	2,5 à 5	P	BDG	R	2 à 3	0 à 4	1,5	130 à 180		correct	
	ORELIS (zircone-carbone)	2,5 à 5	T	BDG	R	2 à 3	0 à 4	1,5	130 à 180		correct	
Blanpain et al., 1994	ORELIS (zircone-carbone) fonctionnalisé polyvinyl imidazole PVIQ ⁺)	0,14	T	BC	R	4		1,3	20 à 40			Seules les membranes modifiées conduisent à une bonne clarification. Le revêtement influe sur la nature du gel. Faible augmentation des performances.
		0,14	T	BDG	R	4		1,3			> 1	
		0,14	T	BDG	R	4	20	1,3			< 1	
Leeder, 1994	(céramique)	0,90	T	FTG	R	3 à 4,5		1,5	20		< 0,3	Concentration massique en matière sèche du rétentat de 11 à 21 %.
Gan et al., 1995	CERAMEM (céramique)	0,50	T	BDG	R	1550	-0,2	110-1160	3-5			Lorsque la pression est supérieure à 0,80 bar, il n'y a pas d'amélioration significative de la densité de flux. Les écoulements secondaires créés par des inserts améliorent la densité de flux, de même que le débit pulsé. Les membranes inversées paraissent économiquement viables. L'écoulement est ici quantifié $Re = \frac{\rho u d}{\eta}$ mbre de Reynolds.
		0,50	T	BDG	R	8-2400	-0,2	800	5,5-6,2			
		0,50	T	BDG	RC	8-2400	-0,2	800	7,5-9,2			
		0,50	T	BDG	R + BF	8-2400	-0,2	800	9-9,8			
		0,50	T	BDG	R	1550	-0,2	1200	6			
		0,50	T	BDG	RC	1550	-0,2	1200	8			
		0,50	T	BDG	R + BF	1550	-0,2	1200	17			
0,50	T	BDG	RI	1550	-0,2	1200	50					

(1) P : plan. T : tubulaire

(2) BC : bière clarifiée. BDG : bière de garde. FTG : fond de tank de fermentation. FTG : fond de tank de garde. RE : récupération d'extrait

(3) R : ruissellement. CC : cocourant. RC : ruissellement avec chicanes. R + BF : ruissellement + rétrolavage périodique. RI : ruissellement avec une membrane inversée

(4) Les guillemets indiquent des valeurs numériques anormalement élevées par rapport aux autres travaux réalisés dans des conditions expérimentales comparables.

Tableau 1 – Synthèse des publications scientifiques sur l'application de la microfiltration tangentielle en brasserie (4) (suite)

Nom, année	Membrane			Fluide produit	Conditions opératoires				Résultats		Remarques
	Nom (nature)	Diamètre de pore (mm)	Forme (1)		(2)	Mode (3)	Vitesse (m · s ⁻¹)	Température (°C)	Pression (bar) (1 bar = 10 ⁵ Pa)	Densité de flux (L · h ⁻¹ · m ⁻²)	
Gan <i>et al.</i> , 1995	CERAMEM (céramique)	0,50	T	BDG	R	1550	-0,2	0,11 à 1,16	3 à 5		Lorsque la pression est supérieure à 0,80 bar, il n'y a pas d'amélioration significative de la densité de flux. Les écoulements secondaires créés par des inserts améliorent la densité de flux, de même que le débit pulsé. Les membranes inversées paraissent économiquement viables. L'écoulement est ici quantifié $Re = \frac{\rho u d}{\eta}$ mbre de Reynolds
		0,50	T	BDG	R	8-2400	-0,2	0,8	5,5 à 6,2		
		0,50	T	BDG	RC	8-2400	-0,2	0,8	7,5 à 9,2		
		0,50	T	BDG	R + BF	8-2400	-0,2	0,8	9 à 9,8		
		0,50	T	BDG	R	1550	-0,2	1,2	6		
		0,50	T	BDG	RC	1550	-0,2	1,2	8		
		0,50	T	BDG	R + BF	1550	-0,2	1,2	17		
Gan <i>et al.</i> , 1997	CERAMEM (céramique)	0,50	T	BDG	R	1550	< 3	0,35 à 0,93	5,5 à 6,5		
		0,50	T	BDG	RC	1550	< 3	0,35 à 0,93	9 à 20		
		1,30	T	BDG	R	6700	< 3	1,3	20		
Fillaudeau, 1998	ORELIS (céramique)	0,10	T	BDG	CC	3 à 6	< 2	1 à 2	15 à 22	≈ 1	Le trouble résiduel est supérieur à 1 EBC. La vitesse de circulation du rétentat admet un optimum et un minimum. Encrassement lié à de l'adsorption et de la rétention stérique.
		0,45	T	BDG	CC	3 à 6	< 2	1 à 2	18 à 35	≈ 1	
		0,80	T	BDG	CC	3 à 6	< 2	1 à 2	23 à 28	1,5	
		1,40	T	BDG	CC	3 à 6	< 2	1 à 2	120 à 400	1,3-2,5	
		5	T	BDG	CC	3 à 6	< 2	1 à 2	430 à 580	3-4	

(1) P : plan. T : tubulaire

(2) BC : bière clarifiée. BDG : bière de garde. FTF : fond de tank de fermentation. FTG : fond de tank de garde. RE : récupération d'extrait

(3) R : ruissellement. CC : cocourant. RC : ruissellement avec chicanes. R + BF : ruissellement + rétro-lavage périodique. RI : ruissellement avec une membrane inversée

(4) Les guillemets indiquent des valeurs numériques anormalement élevées par rapport aux autres travaux réalisés dans des conditions expérimentales comparables.

Tableau 2 – Synthèse des publications scientifiques sur l'application de la microfiltration tangentielle en brasserie Observations et modélisations

Nom, année	Membrane			Produit	Température (°C)	Remarques
	Nom (nature)	Diamètre de pore (µm)	Forme (1)			
Mietton-Peuchot et Ben Aim, 1984	Nucléopore (polycarbonate)	0,20	P	BDG	5	<ul style="list-style-type: none"> Pression transmembranaire de 0,5 bar, vitesse de 0,5 à 3 m · s⁻¹. Décroissance très importante de la vitesse de filtration dans les 15 premières minutes puis stabilisation. Augmentation appréciable des flux en fonction de la vitesse tangentielle.
Reed et Leeder, 1986				FTG		<ul style="list-style-type: none"> L'ultrafiltration donne une bière brillante mais souffrant d'une atténuation trop importante de la densité et de la couleur. La concentration finale en solide atteinte dans le rétentat est seulement de 20 % en masse alors que les filtres presses permettent d'obtenir 25-28 %. La MFT de FTG ne paraît pas économiquement viable pour cette application.
				BDG		<ul style="list-style-type: none"> Une telle opération peut produire une bière claire d'une qualité exceptionnelle.
Kiefer, 1991				BDG		<ul style="list-style-type: none"> La différence la plus significative entre les procédés de laboratoire et industriels repose sur les conditions opératoires (pression, vitesse). En lien avec l'application des conditions optimums de travail en laboratoire (pressions transmembranaires faibles et vitesses de circulation élevées), Kiefer soulève le problème des pertes de charge linéiques par rapport à la pression transmembranaire et de l'impossibilité de réaliser ces conditions en mode ruissellement à l'échelle industrielle. Les problèmes de MFT de BDG sont plus larges que la simple qualité du perméat. Envisager une installation industrielle est tout à fait réaliste.

(1) P : plan

T : tubulaire

FC : fibre creuse

(2) BC : bière clarifiée

BDG : bière de garde

FTG : fond de tank de garde

Tableau 2 – Synthèse des publications scientifiques sur l’application de la microfiltration tangentielle en brasserie Observations et modélisations (suite)

Nom, année	Membrane			Produit (2)	Température (°C)	Remarques
	Nom (nature)	Diamètre de pore (µm)	Forme (1)			
Lenoël <i>et al.</i> , 1993	SCT (céramique)	0,80	T	BDG		<ul style="list-style-type: none"> • Ce type de membrane fournit une bière claire et stérile. • Le mécanisme d’encrassement peut être décrit par les lois standard (SBM), intermédiaire (IBL) et de filtration sur gâteau (CFL). • Cette étude soupçonne que l’adsorption soit le mécanisme responsable de la chute initiale du flux suivi par la formation d’un dépôt dont la croissance est limitée par l’hydrodynamique.
Blanpain <i>et al.</i> , 1993	CYCLOPORE (polyéthylène-téréphthalate)	0,20	P	BDG	0	<ul style="list-style-type: none"> • Une analyse des résistances en série montre qu’il y a plus de 70 % de la résistance totale qui est externe et réversible (essais en cellule agitée : filtration frontale). • Les interactions protéines – membrane jouent un rôle significatif (encrassement, rétention). • Mise en évidence de l’importance des conditions opératoires en début de filtration sur la formation de l’encrassement.
Lenoël <i>et al.</i> , 1994	SCT (céramique)	0,80	T	BDG		<ul style="list-style-type: none"> • L’encrassement des membranes peut être décrit par les lois de classiques de filtration à pression constante. • Le colmatage interne des pores est suivi par un colmatage externe dû à la formation d’une couche externe des colloïdes formant une « seconde membrane dynamique ». • Le rôle des interactions protéines – membrane est significatif pour les membranes hydrophobes.
Xu-Jian <i>et al.</i> , 1995	ORELIS (PDVF ; PVDF traité polyéthylène imine PEI, polyvinyle alcool PVA)	0,80	P	BC		<ul style="list-style-type: none"> • Ces travaux montrent la présence d’encrassements interne et externe des membranes. • Le colmatage des membranes par les protéines est étroitement lié aux propriétés de surface des membranes.
Blanpain et Lalande, 1997	Nucléopore (polycarbonate)	0,2	P	BC BDG	0	<ul style="list-style-type: none"> • Transition d’un colmatage interne des pores (loi de blocage standard) vers un encrassement externe à la surface membranaire (loi de filtration sur gâteau). • La résistance membranaire prépondérante provient de la formation d’un dépôt labile et réversible en surface (représentant plus de 80 % de la résistance membranaire totale). • Les colloïdes et les macrolutés présents dans la bière jouent un rôle prépondérant dans l’encrassement interne et externe de la membrane étant donné leur forte tendance à interagir (via des mécanismes électrocinétiques et d’adsorption) avec le matériau poreux.
Wenten, 1995	(polymère)	0,6	FC	BDG		<ul style="list-style-type: none"> • Le colmatage interne des pores semble de loin le colmatage le plus important. • Le <i>backshock</i> améliore considérablement les densités de flux.
Fillaudeau et Lalande, 1998	ORELIS (céramique)	1,40	T	BDG	< 2	<ul style="list-style-type: none"> • Mise en évidence de la pluralité des encrassements (interne, externe ; réversible, irréversible) avec la mise en évidence d’un mécanisme intégrant une rétention stérique des particules et une cinétique d’adsorption à la surface de la membrane.

(1) P : plan
T : tubulaire
FC : fibre creuse
(2) BC : bière clarifiée
BDG : bière de garde
FTG : fond de tank de garde