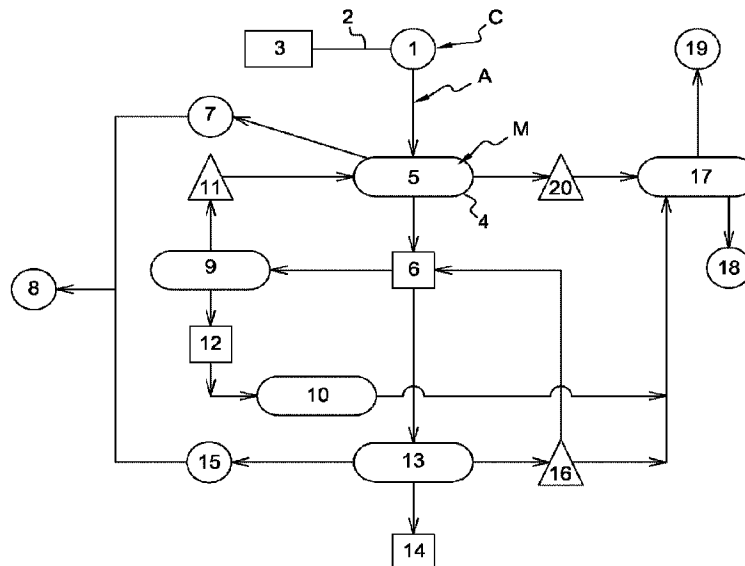




(86) **Date de dépôt PCT/PCT Filing Date:** 2015/07/17
 (87) **Date publication PCT/PCT Publication Date:** 2016/01/28
 (45) **Date de délivrance/Issue Date:** 2023/08/29
 (85) **Entrée phase nationale/National Entry:** 2017/01/19
 (86) **N° demande PCT/PCT Application No.:** FR 2015/051967
 (87) **N° publication PCT/PCT Publication No.:** 2016/012701
 (30) **Priorité/Priority:** 2014/07/25 (FR1457198)

(51) **Cl.Int./Int.Cl. C12P 7/40** (2006.01),
C07B 61/00 (2006.01), **C12M 1/00** (2006.01),
C12P 1/00 (2006.01), **C12P 7/52** (2006.01),
C12P 7/54 (2006.01)
 (72) **Inventeurs/Inventors:**
 NOUAILLE, REGIS, FR;
 PESSIOT, JEREMY, FR
 (73) **Propriétaire/Owner:**
 AFYREN, FR
 (74) **Agent:** BCF LLP

(54) **Titre : PROCÉDE DE PRODUCTION DE MOLECULES ORGANIQUES A PARTIR DE BIOMASSE FERMENTESCI BLE**
 (54) **Title: METHOD FOR PRODUCING ORGANIC MOLECULES FROM FERMENTABLE BIOMASS**



(57) **Abrégé/Abstract:**

Le procédé de production de molécules organiques à partir de biomasse fermentescible, comprend une étape de fermentation (5) anaérobie produisant des acides gras volatils (6), ces précurseurs étant transformés en molécules organiques finales par voie non fermentaire. Il comprend également au moins les étapes suivantes; a) extraire (9) au moins une partie des acides gras volatils du milieu de fermentation de sorte que la production de métabolites fermentaires par les microorganismes (M) n'est pas affectée et introduire une partie de la phase liquide (11) contenant des microorganismes issue de l'extraction (9), b) synthétiser (13) des molécules organiques à partir des métabolites fermentaires ou des acides gras volatils extraits à l'étape a), c) poursuivre les étapes a) à b) jusqu'à l'obtention, en quantité et en qualité, des molécules organiques finales. L'invention concerne également une installation de mise en oeuvre du procédé.

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international(10) Numéro de publication internationale
WO 2016/012701 A1(43) Date de la publication internationale
28 janvier 2016 (28.01.2016)

WIPO | PCT

(51) Classification internationale des brevets :

C12P 7/40 (2006.01)	C12P 39/00 (2006.01)
C12P 7/52 (2006.01)	C12M 1/107 (2006.01)
C12P 7/54 (2006.01)	C12P 5/02 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/FR2015/051967

(22) Date de dépôt international :

17 juillet 2015 (17.07.2015)

(25) Langue de dépôt :

français

(26) Langue de publication :

français

(30) Données relatives à la priorité :

1457198 25 juillet 2014 (25.07.2014) FR

(71) Déposant : AFYREN [FR/FR]; Biopole Clermont Li-
magne, F-63360 Saint Beauzire (FR).(72) Inventeurs : NOUAÏLE, Régis; 22 rue Nelson Mandela,
F-63800 Courmon D'auvergne (FR). PESSIOT, Jérémy;
rue Saint Lazare, F-58400 La Charite Sur Loire (FR).(74) Mandataire : CABINET LUERN; 11 avenue Léonard de
Vinci, BP 10009, F-63064 Clermont-Ferrand cedex 1 (FR).(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM,
AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR,
KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG,
MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM,
PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC,
SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN,
TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,
GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ,
TZ, UG, ZM, ZW), eurasiatique (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU,
TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE,
DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU,
LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK,
SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ,
GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Déclarations en vertu de la règle 4.17 :

- relative à l'identité de l'inventeur (règle 4.17.i)
- relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv)

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : METHOD FOR PRODUCING ORGANIC MOLECULES FROM FERMENTABLE BIOMASS

(54) Titre : PROCÉDÉ DE PRODUCTION DE MOLÉCULES ORGANIQUES À PARTIR DE BIOMASSE FERMENTESCIBLE

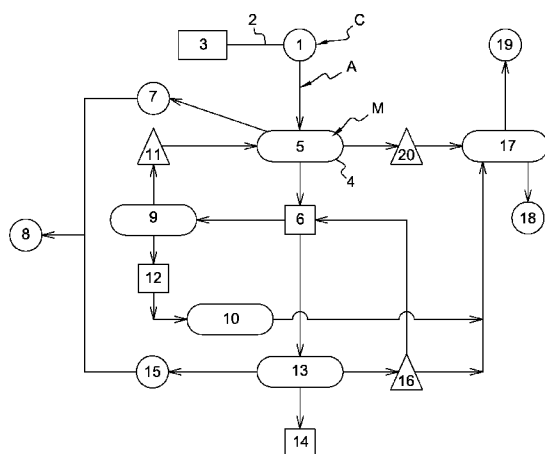


Fig. 1

(57) Abstract : The invention relates to a method for produ-
cing organic molecules from fermentable biomass, which in-
cludes a step of anaerobic fermentation (5) producing vola-
tile fatty acids (6), said precursors being transformed into fi-
nal organic molecules by non-fermentation means. The meth-
od also includes at least the following steps: a) extracting
(9) at least one portion of the volatile fatty acids from the fer-
mentation medium such that the production of fermentation
metabolites by the microorganisms (M) is not affected and
injecting a portion of the liquid phase (11) containing mi-
croorganisms from the extraction (9); b) synthesising (13) or-
ganic molecules from the fermentation metabolites or volatile
fatty acids extracted in step a); and c) continuing steps a) to
b) until obtaining a final amount and quality of organic mole-
cules. The invention also relates to a facility for implemen-
ting the method.(57) Abrégé : Le procédé de production de molécules orga-
niques à partir de biomasse fermentescible, comprend une
étape de fermentation (5) anaérobie produisant des acides
gras volatils (6), ces précurseurs étant transformés en molé-
cules organiques

[Suite sur la page suivante]

WO 2016/012701 A1 **Publiée :**

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

finales par voie non fermentaire. Il comprend également au moins les étapes suivantes; a) extraire (9) au moins une partie des acides gras volatils du milieu de fermentation de sorte que la production de métabolites fermentaires par les microorganismes (M) n'est pas affectée et introduire une partie de la phase liquide (11) contenant des microorganismes issue de l'extraction (9), b) synthétiser (13) des molécules organiques à partir des métabolites fermentaires ou des acides gras volatils extraits à l'étape a), c) poursuivre les étapes a) à b) jusqu'à l'obtention, en quantité et en qualité, des molécules organiques finales. L'invention concerne également une installation de mise en œuvre du procédé.

PROCÉDÉ DE PRODUCTION DE MOLÉCULES ORGANIQUES À PARTIR DE BIOMASSE FERMENTESCIBLE

La présente invention concerne un procédé de production de molécules à partir
5 de biomasse fermentescible. Cette production est réalisée à partir de biomasse jusqu'à la production de molécules présentant un intérêt et directement utilisables, de façon similaire à une production de molécules dans une bioraffinerie. Ici, le procédé comprend, entres autres, une étape de fermentation anaérobie.

Par biomasse fermentescible, on désigne ici un substrat organique,
10 avantageusement mais non exclusivement, non alimentaire, obtenu à partir de déchets, sous-produits et coproduits formés de matières organiques, c'est-à-dire de la biomasse, issue des activités humaines, qu'elles soient domestiques, industrielles, agricoles, forestières, aquacoles, agro-industrielles ou issue de l'élevage. A titre d'exemple non limitatif, on peut citer comme substrat organique les fumiers, la fraction organique des
15 ordures ménagères, les coproduits d'abattoir, des résidus cellulosiques ou ligno-cellulosiques provenant de l'agro-industrie tels ceux issus de la transformation de la canne à sucre (bagasse), du tournesol ou du soja.

Par fermentation anaérobie on entend une fermentation réalisée dans des conditions anaérobies par des microorganismes, eucaryotes ou procaryotes, tels que
20 des bactéries, des champignons, des algues ou des levures.

Le terme molécule désigne ici, mais non exclusivement, des molécules dites précurseurs. Ces précurseurs permettent par la suite la production d'autres molécules qui présentent un intérêt énergétique et/ou chimique supérieur à celui des précurseurs, étant entendu qu'il s'agit de molécules organiques. On peut citer comme molécules
25 ayant un intérêt énergétique et/ou chimique, par exemple, des molécules ayant une chaîne carbonée telles que des acides, des hydrocarbures, du méthane, des esters, des alcools, des amides ou des polymères.

Aujourd'hui, les molécules ayant un intérêt énergétique et chimique sont généralement issues de matières premières fossiles, telles les hydrocarbures. Leur

production à partir de matières premières renouvelables, comme la biomasse, est donc une solution intéressante du point de vue économique et écologique. On connaît ainsi des procédés de production d'un type donné de molécules à partir de substrat organique. On peut citer par exemple la production d'éthanol, qui est un composant important des biocarburants de première génération pour les véhicules, à partir de biomasse, essentiellement alimentaire telle que le maïs, le blé, la betterave ou la canne à sucre. De tels procédés, non seulement, ne produisent qu'un monotype de molécule valorisable mais une partie importante du carbone du substrat est transformée en coproduit de faible intérêt, comme le dioxyde de carbone. De plus, la récupération, par des moyens divers, des molécules ayant un intérêt conduit à la production d'une quantité importante de déchets, ce qui génère des problèmes environnementaux. Par ailleurs, les microorganismes utilisés dans de tels procédés sont généralement des microorganismes génétiquement modifiés. Pour remédier à cela on connaît des procédés visant à produire, par fermentation de la biomasse généralement prétraitée ou alimentaire, des molécules dites précurseurs. Ces molécules sont par la suite transformées, par des voies chimiques connues, en différentes molécules utilisables. La transformation en molécules finales s'effectue postérieurement et indépendamment de la phase de production de ces molécules dites précurseurs.

US-A-6 043 392 décrit un tel procédé permettant de produire des cétones par un traitement thermique des sels d'acides gras volatils obtenus par fermentation anaérobie. Une partie des acides gras volatils est également convertie en hydrocarbures, en aldéhydes, en alcools. Outre un nombre limité de produits finaux obtenus par un tel procédé, il s'avère qu'il s'effectue en deux étapes distinctes, à savoir la fermentation puis le traitement des sels d'AGV. En d'autres termes, le procédé n'est pas continu. Il est connu que la production d'acides gras volatils effectuée par une fermentation anaérobie induit une acidification du milieu préjudiciable aux microorganismes. L'acidification du milieu induisant une inhibition des microorganismes, donc un ralentissement voir un arrêt de la fermentation, il est nécessaire de travailler en discontinu. Pour cela, les AGV sont extraits après un temps de fermentation donné. On connaît également par

US-A-4 358 537 un procédé, in situ, de production de carbohydrates à partir d'une parcelle de tourbe. Ici, les AGV ne sont pas un produit recherché en tant que précurseur. De façon similaire, US-A-2013/309 740 décrit une fermentation anaérobie dont l'objet est la production de méthane, les AGV étant un déchet à éliminer. Ces procédés ne
5 permettent donc pas une production rapide et en continue de molécules dites précurseurs, le rendement n'étant pas optimal.

Or, dans le cadre d'un procédé industriel de production de molécules par fermentation à partir de biomasse, il est important, pour garantir la productivité de l'installation, d'avoir un procédé dont le rendement et l'adaptabilité à la production de
10 différentes molécules sont, non seulement, aussi élevés que possible mais surtout réguliers, maîtrisés tout en limitant la production de déchets et d'effluents à traiter ultérieurement. Ceci est d'autant plus important que les substrats organiques utilisés comme biomasse fermentescible sont principalement d'origine agricole, industrielle, domestique et/ou agro-alimentaire afin de garantir des volumes importants. De ce fait, on
15 observe une grande variabilité, qualitative et quantitative, du substrat, cela en fonction de divers facteurs tels que le lieu ou la saison.

L'invention vise plus particulièrement à remédier à ces inconvénients en proposant un procédé permettant de produire de manière régulière et maîtrisée diverses molécules dites biosourcées, c'est-à-dire issues de la biomasse, cela dans une approche
20 de type bioraffinerie.

A cet effet, l'invention a pour objet un procédé de production de molécules organiques à partir de biomasse fermentescible, comprenant une étape de fermentation anaérobie, ladite fermentation produisant des métabolites fermentaires dits précurseurs, tels des acides gras volatils, ces métabolites dits précurseurs étant transformés en
25 molécules organiques finales par voie non fermentaire, le procédé comprenant au moins une étape consistant à conduire la fermentation d'un substrat organique formé par de la biomasse fermentescible dans un réacteur de fermentation jusqu'à la production comme métabolites fermentaires d'acides gras volatils (AGV) ayant une chaîne carbonée de 1 à 8 carbones, caractérisé en ce qu'il comprend au moins les étapes suivantes :

- a) extraire, entre le début de production et le maximum de production desdits acides gras volatils, au moins une partie des acides gras volatils du milieu de fermentation de sorte que la production de métabolites fermentaires par les microorganismes n'est pas affectée et introduire au moins une partie de la phase liquide, contenant des
5 microorganismes, issue de l'extraction dans le réacteur de fermentation,
 - b) synthétiser des molécules organiques à partir des métabolites fermentaires produits dans le réacteur de fermentation ou des acides gras volatils extraits à l'étape a),
 - c) poursuivre les étapes a) à b) jusqu'à l'obtention, en quantité et en qualité, des molécules organiques finales.
- 10 Un tel procédé permet de produire des métabolites fermentaires dits précurseurs, à savoir des acides gras volatils, en continu et en préservant la population de microorganismes présents dans le bioréacteur. En effet, l'étape d'extraction permet non seulement d'éviter l'accumulation d'acides gras volatils dans le milieu mais également de
15 préserver les microorganismes, l'extraction étant effectuée dans des conditions non létales pour la totalité des microorganismes. En d'autres termes, l'extraction est biocompatible c'est-à-dire qu'elle n'interfère pas et ne dégrade pas le milieu biologique dans lequel elle est effectuée. De cette manière, on s'affranchit des problèmes liés à l'accumulation des précurseurs dans le réacteur de fermentation, par exemple de
20 produits qui sont nocifs pour les microorganismes. On maintient à un niveau élevé, proche du niveau initial, l'activité des microorganismes tout au long du cycle de fermentation, la plupart des microorganismes n'étant pas inhibée par cette étape d'extraction.

25 Selon des aspects avantageux mais non obligatoires de l'invention, un tel procédé peut comprendre une ou plusieurs des caractéristiques suivantes:

- avant l'étape a), on inocule dans le réacteur de fermentation un mélange de microorganismes provenant d'écosystèmes naturels définis.
- Les étapes a) à c) sont réalisées en continu.

- Les résidus issus du procédé sont adaptés pour être utilisés comme amendement, fertilisants ou comme coproduit tel que le méthane.

L'invention concerne également une installation de mise en œuvre d'un procédé conforme à l'une des caractéristiques précédentes, caractérisée en ce qu'elle comprend

5 au moins :

- un réacteur de fermentation,

- un organe d'extraction propre à assurer l'extraction des acides gras volatils contenus dans la phase liquide produite lors de la fermentation et

- un organe de synthèse, tel qu'un réacteur chimique ou une cellule d'électrolyse, 10 propre à assurer la synthèse des métabolites fermentaires obtenus lors de la fermentation en molécules organiques finales.

Selon des aspects avantageux mais non obligatoires une telle installation peut comprendre les caractéristiques suivantes :

- Elle comprend au moins un organe de stockage du substrat.

15 L'invention sera mieux comprise et d'autres avantages de celle-ci apparaîtront plus clairement à la lecture de la description de plusieurs modes de réalisation de l'invention, donnée à titre d'exemple non limitatif et faite en référence aux dessins suivants dans lesquels:

- La figure 1 est un schéma simplifié représentatif du procédé objet de l'invention.

20 Les différentes étapes du procédé sont maintenant décrites en référence à plusieurs modes de réalisation, étant entendu que les étapes connues en soi ne sont pas détaillées. En particulier, il sera fait référence par la suite au diagramme de la figure 1 comme illustrant un mode avantageux de réalisation de l'invention. En particulier, le procédé est décrit dans le cas du régime permanent de la fermentation. En effet, les 25 étapes relatives au démarrage de la fermentation sont connues en soi.

Tout d'abord le substrat 1 utilisé ici est, avantageusement, non traité, à savoir qu'il n'a subi aucun prétraitement physico-chimique ou enzymatique. En variante, le substrat 1 peut avoir subi un traitement mécanique, par exemple un broyage 2, facilitant l'action des microorganismes sur le substrat. Celui-ci est majoritairement constitué par

de la biomasse 3 issue des activités humaines. A titre d'exemple non limitatif, on peut citer les déchets agricoles ou végétaux (paille, bagasse, drèche de maïs, herbes, bois, tonte) les déchets papetiers (carton, papier), les déchets agroalimentaires, les déchets d'abattoirs, la fraction organique des ordures ménagères, les effluents d'élevage (fumiers, lisiers, fientes), les algues, les déchets d'aquaculture, les déchets d'activité forestière ou les coproduits fermentescibles de l'industrie cosmétique. Dans un autre mode de réalisation, le substrat 1 a subi un prétraitement physico-chimique ou enzymatique, bien que ce mode ne soit pas un mode de réalisation préféré.

De manière préférée mais non limitative, le substrat 1 est utilisé tel qu'il est fourni, pour autant que son pouvoir fermentescible soit préservé. Ce pouvoir fermentescible est caractérisable par le potentiel méthanogène de la biomasse, couramment désigné par l'acronyme en langue anglaise BMP (Biochemical Methane Potential). Une déshydratation contrôlée, telle que décrite dans la demande de brevet FR1302119 déposée par la demanderesse permet de maintenir sur une période de plusieurs mois ce pouvoir fermentescible.

Certains substrats contiennent également des molécules organiques, telles des acides organiques, qui n'influeront pas, ou de façon marginale, sur le procédé de fermentation. En revanche, ces molécules peuvent se retrouver dans le milieu de fermentation et participer, par exemple au titre de précurseur, à la production des molécules organiques finales.

Avec certains types de substrat, il peut être avantageux d'incorporer des nutriments et/ou des composés minéraux afin d'augmenter la croissance bactérienne et/ou de réguler le pH du substrat et/ou des coproduits favorisant la production d'AGV ou d'autres molécules. A titre d'exemple, on peut citer l'ajout, en faible quantité, de NaOH, KOH, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, K_2HPO_3 , KH_2PO_3 , de glycérol ou de solutions de vitamines ou d'oligoéléments. Cet ajout est représenté par la flèche A.

Le substrat est introduit dans un réacteur de fermentation 4, connu en soi et dimensionné pour la production souhaitée, que cette dernière soit à l'échelle du laboratoire pour effectuer des essais ou à l'échelle industrielle dans le cas d'une

production. En d'autres termes, le réacteur de fermentation 4 ou bioréacteur a un volume variant de quelques litres à plusieurs centaines de mètres cubes, selon les besoins.

Des microorganismes sont, de manière avantageuse mais non obligatoire, introduits au préalable dans le réacteur de fermentation 4, au moins lors du démarrage, en quantité suffisante pour initier la fermentation. On conçoit que la quantité de microorganismes introduite dépend, entre autres, du substrat. Ces microorganismes sont inoculés sous forme d'un consortium, illustré par la flèche M. Par le terme consortium, on désigne un mélange ou mix de microorganismes, eucaryotes ou procaryotes, qu'il s'agisse de bactéries, levures, champignons ou algues. Ces microorganismes M proviennent essentiellement d'écosystèmes naturels propres à réaliser une fermentation dans des conditions anaérobies. A titre d'exemple non limitatif, on peut citer comme écosystèmes la zone anaérobie des milieux aquatiques comme la zone anoxique de certains lacs, les sols, les marais, les boues d'épuration, le rumen des ruminants ou l'intestin des termites. Il convient de garder à l'esprit que la distribution qualitative et quantitative des différents types et espèces de microorganismes dans le consortium M n'est pas connue précisément et surtout peut varier dans des proportions importantes. Il s'avère que cette diversité qualitative et quantitative des microorganismes apporte, de façon surprenante, une robustesse et une adaptabilité au procédé de fermentation permettant d'assurer une utilisation optimale des substrats, quel que soit la composition de ces derniers et cela dans des conditions de fermentation variables.

Par ailleurs, du fait que le substrat 1 est utilisé tel quel, c'est-à-dire qu'il n'est pas stérilisé ou, plus généralement, qu'il n'est pas débarrassé des microorganismes qu'il contient préalablement à son introduction dans le bioréacteur, il s'avère que ces microorganismes endémiques au substrat 1 sont, de facto, incorporés dans le consortium M ou du moins associés à ce dernier dans le bioréacteur 4.

On observe par ailleurs une fluctuation importante non seulement entre les différents consortia ayant la même provenance mais également au sein d'un même consortium lors de la fermentation. Les travaux des inventeurs (Pessiot et al. Fed-batch Anaerobic Valorization of Slaughterhouse By-products with Mesophilic Microbial

Consortia Without Methane Production. Applied Biochemistry and Biotechnology, 6 janvier 2012) ont montré que cette fluctuation est due à des vagues successives de population de microorganismes mais que ces populations sont, globalement, similaires en activité et en types de microorganismes, sur une période donnée. De ce fait, il y a une relative constante dans les produits de la fermentation, au moins qualitativement.

La fermentation 5 en vue de produire des acides gras volatils présente, selon le procédé de l'invention, des caractéristiques intéressantes comme le fait de se dérouler en condition non stérile. Le consortium M de microorganismes permet d'utiliser de façon optimale le substrat 1, cela sans ajout de produits tels que des enzymes. Par ailleurs, la fermentation 5 a lieu en condition anaérobie, plus précisément lorsque le potentiel redox est inférieur à -300mV, avantageusement compris entre -550mV et -400mV, lorsque le pH est inférieur à 8, préférentiellement compris entre 4 et 7. Ainsi, la fermentation 5 est, avantageusement, limitée à la production de métabolites fermentaires dits précurseurs, donc d'acides gras volatils ou AGV. Il s'agit, en fait, de réaliser, dans un réacteur de fermentation 4, une réaction similaire au phénomène d'acidose que l'on rencontre chez les ruminants tout en limitant au maximum la production de méthane qui est, généralement, un des métabolites finaux obtenu à l'issue d'une telle fermentation anaérobie.

La fermentation 5 menée, selon l'invention, avec le consortium M permet, à la différence des fermentations avec des souches définies, de dégrader non seulement les sucres (pentoses, hexoses ou autres) présents dans le substrat 1 mais également la majeure partie des composants du substrat 1 tels que les protéines, les acides nucléiques, les lipides, des acides carboxyliques. Ainsi, le rendement d'une telle fermentation 5 est particulièrement élevé, la production de déchets étant faible. La fermentation de molécules complexes telles des protéines est particulièrement intéressante car elle permet, entre autres, la production d'acide isobutyrique, d'acide 2-méthyl butyrique et d'acide isovalérique. Ces acides gras volatils ramifiés sont des précurseurs à fort potentiel pour la production de molécules ramifiées comme des hydrocarbures ramifiés qui présentent des avantages en tant que carburant. En d'autres termes, la fermentation

5 produit, parmi les différents composés générés, des précurseurs pour une synthèse de bio-carburants et de biomolécules d'intérêt pour la chimie.

Plus précisément, cette fermentation 5 conduit, dans un premier temps, à la formation d'acides gras volatils ayant de un à huit carbones, principalement de deux à
5 quatre carbones tels que l'acide acétique, l'acide propionique et l'acide butyrique. On obtient aussi des acides gras volatils à plus longue chaîne, donc supérieure à quatre carbones, tels que les acides valérique et caproïque, heptanoïque ou octanoïque. En poursuivant la fermentation et/ou en augmentant la quantité de microorganismes dans le bioréacteur 4, si besoin avec des microorganismes sélectionnés, il est possible de
10 favoriser la production d'AGV à longue chaîne carbonée, donc supérieure à quatre carbones. En d'autres termes, les métabolites produits en quantité lors de la fermentation 5 sont des acides gras volatils majoritairement de deux à six carbones.

Il est à noter qu'il est également possible d'ajouter dans le réacteur de fermentation 4 des acides carboxyliques à longues chaînes carbonées (C8 à C22) qui
15 seront fermentés ou transformés, lors des étapes ultérieures de transformation chimiques, en hydrocarbures comme l'octane et le kérosène. Ces acides carboxyliques peuvent être ajoutés, selon la flèche C, sous leur forme brute ou bien par le biais de substrats les contenant comme certains produits végétaux qui contiennent des huiles. A titre d'exemples non restrictifs, on peut citer les huiles de tournesol, de soja, de noix de
20 coco, de palmiers à huile, de cacahuète ou de Jatropha. Ces acides carboxyliques ou ces huiles sont, avantageusement, incorporés au substrat 1.

La fermentation 5 peut être conduite en mode discontinu ou batch, en continu-discontinu ou fed-batch ou encore en continu dans un seul ou dans plusieurs réacteurs de fermentation disposés en série.

25 La fermentation 5 est réalisée en utilisant des techniques de fermentation classiques pour générer des conditions anaérobies. Pour cela l'utilisation d'une atmosphère sous dioxyde de carbone est préférée, même si d'autre gaz comme l'azote ou l'argon peuvent être envisagés pour réaliser les conditions d'anaérobiose. La température au sein du ou des réacteur(s) de fermentation 4 est comprise entre 20 et

60°C, préférentiellement entre 35 et 42°C. Le pH est inférieur à 8, préférentiellement entre 4 et 7. Le potentiel redox est inférieur à -300mV, avantageusement compris entre -550mV et -400mV. Les moyens de gestion et de maintien de la température et du pH sont connus en soi.

5 La fermentation 5 est maintenue un temps suffisant pour produire des acides gras volatils en phase liquide, illustré par la référence 6. Le temps de fermentation varie, entre autres, en fonction du substrat 1, des microorganismes M présents, de la concentration initiale en AGV et des conditions de fermentation. Typiquement, la période de fermentation est comprise entre 1 et 7 jours, préférentiellement entre 2 et 4 jours. La
10 concentration en AGV 6 obtenue dans le milieu de fermentation à l'issue de cette période est variable, mais est généralement de l'ordre de 10 à 20 g/L, selon les acides gras volatils, étant entendu que dans certaines conditions elle peut être supérieure à 35 g/L par exemple voisine de 50 g/L. A la fin de l'étape de fermentation, le milieu de fermentation est à un pH acide, qui est généralement compris entre 4 et 6.

15 On conçoit que la fermentation 5 produit d'autres composés, en particulier des gaz 7, tels le dioxyde de carbone, l'hydrogène ou le méthane qui, avantageusement, sont récupérés et utilisés de manière connue, selon la référence 8.

Le dioxyde de carbone est, par exemple, réintroduit dans le réacteur de fermentation 4 afin de participer au maintien des conditions anaérobies. En variante, il
20 est utilisé comme source de carbone pour la production de biomasse photosynthétique. D'autres métabolites sont produits, par exemple de l'acide lactique, des esters, des alcools. Ces derniers peuvent, soit être réintroduits dans le bioréacteur 4, pour poursuivre la fermentation 5, soit être utilisés pour d'autres applications, tels quels ou après transformation.

25 L'étape suivante est l'extraction 9 des acides gras volatils 6 ainsi formés. Ces derniers, par des réactions connues en soi, produiront, lors d'une étape suivante 10, des molécules dites biosourcées, selon les besoins définis. En variante, comme indiqué précédemment, ils forment un substrat pour une fermentation dite secondaire pour

produire des acides gras volatils à plus longue chaîne carbonée. Cette fermentation peut être menée dans le même réacteur, dans la continuité de la première fermentation, ou, en variante, dans un autre réacteur. A titre d'exemple, on peut citer la fermentation secondaire, par certains microorganismes tels que *Megasphaera edelsnii* ou *Clostridium* 5 *kluveri*, des acides acétique et butyrique en acides caproïque et caprylique. Une telle fermentation permet ainsi d'augmenter les quantités en certains AGV présents initialement en quantité limitée.

Dans tous les cas, les acides gras volatils 6 produits en phase liquide par la fermentation 5 anaérobie et qui sont, au moins en partie, extraits le sont dans des 10 conditions telles que l'extraction 9 n'affecte pas, ou du moins de manière marginale, la production d'acides gras volatils par les microorganismes présents dans le milieu de fermentation. Lorsque l'on extrait du milieu de fermentation des acides gras volatils, de facto on réduit l'acidification du milieu par ces acides.

De manière avantageuse, dans la mesure où la méthode d'extraction retenue 15 n'est pas létale pour la totalité des microorganismes, il s'avère que la phase liquide résiduelle 11, après l'extraction 9, contient également une certaine quantité de microorganismes vivants, donc potentiellement actifs. Comme dans cette phase liquide 11 il y a une concentration en acides gras volatils 6 inférieure à celle du milieu de fermentation, il est donc possible de la réinjecter dans le réacteur de fermentation 4. 20 Ainsi, non seulement on dilue les acides gras volatils présents dans le milieu en cours de fermentation 5, on élève le pH du milieu mais on réensemence également le milieu avec des microorganismes, assurant la fermentation 5, cela par extraction 9 des composés acides 6.

Une telle solution permet d'optimiser le rendement de la fermentation 5 et de 25 réaliser une fermentation en continue, cela en abaissant les temps de réaction et en limitant la production de déchet afin de tendre vers le zéro déchet.

L'extraction 9 est, avantageusement effectuée en phase liquide. Elle est conduite en continue ou de manière séquentielle, par exemple avec une extraction toutes les 12h heures. Dans tous les cas, l'extraction d'une partie des acides gras volatils est réalisée

entre le début de production et le maximum de production des métabolites. Avantageusement, l'extraction est effectuée au voisinage du seuil d'inhibition des microorganismes par les acides gras volatils. Ce seuil est fonction, entre autres, du substrat et des conditions de fermentation. De même, l'introduction de la phase liquide
5 issue de l'extraction est réalisée dans un délai permettant de maintenir un niveau élevé de production des acides gras volatils, c'est-à-dire proche du niveau auquel l'extraction a été faite.

Une fois extraits 9, les acides gras volatils 6 sont purifiés 12 et/ou transformés, selon l'étape référencée 10, en d'autres produits, tels que des alcanes, des alcènes, des
10 amides, des amines, des esters, des polymères par des techniques connues en soi comme la distillation, l'électrosynthèse, l'estérification, l'amidation ou la polymérisation.

De façon concomitante, en variante avantageuse, une partie des acides gras volatils 6 produits lors de la fermentation 5 n'est pas extraite mais subit une étape d'électrosynthèse 13 ou synthèse par électrolyse. On produit ainsi des hydrocarbures,
15 prioritairement à partir des acides gras volatils à longue chaîne carbonée jusqu'à l'acétate.

L'étape d'électrosynthèse 13 permet de convertir des acides gras volatils 6 produits en de grandes quantités de composés 14 gazeux et liquides via les réactions, connues, de décarboxylation électrochimique de Kolbe et/ou d'Hofer-Moest. Ces deux
20 réactions se produisent simultanément durant la synthèse par électrolyse mais un ajustement est possible pour favoriser l'une ou l'autre de ces réactions en modifiant des paramètres facilement contrôlables comme décrit plus loin. Divers métabolites peuvent être produits en jouant sur ces paramètres, ce qui permet une production flexible de différentes molécules, tant qualitativement que quantitativement.

25 L'électrosynthèse 13 permet de convertir les acides gras volatils directement dans le milieu de fermentation. De ce fait, l'électrosynthèse est également un moyen d'extraction des acides gras volatils du milieu de fermentation.

Lorsque d'autres molécules organiques telles que des acides carboxyliques ou des alcools sont ajoutées aux acides gras volatils, l'éventail d'hydrocarbures et de produits pouvant être formés s'élargit.

Etonnamment, la demanderesse a constaté que l'étape d'électrosynthèse peut
5 être réalisée dans le milieu de fermentation, dans des conditions de réaction douces, à température et à pression ambiantes, à 3V ou plus de 3V et à 1 mA/cm² ou plus de 1 mA/cm² de densité de courant à l'anode, en utilisant, par exemple, des électrodes de platine ou de carbone, comme par exemple le graphite.

Concernant les conditions d'électrosynthèse, le pH de la phase aqueuse
10 contenant les acides gras volatils se situe entre 2 et 11, préférentiellement entre 5,5 et 8. En conditions de pH acides ou neutres, la réaction de Kolbe fournissant des alcanes est favorisée, alors qu'en conditions de pH alcalines c'est la déprotonation oxydative de la réaction de Hofer-Moest fournissant des alcènes qui est favorisée.

Dans cette étape d'électrosynthèse 13, les AGV, donc des acides carboxyliques,
15 à chaînes carbonées courtes et moyennes doivent être sous forme de carboxylates pour être utilisés. C'est pourquoi un pH faible tendra non seulement à diminuer la concentration en acides gras volatils sous forme d'anions mais également la solubilité des acides carboxyliques ou AGV à chaîne carbonée moyenne. Le pH peut être ajusté, entre autres, avec de la soude pour maintenir de fortes concentrations en carboxylates
20 pour être soumis à l'électrolyse. En général, il n'y a pas besoin d'utiliser de solvants organiques, les milieux de fermentation étant de bons électrolytes pour l'étape d'électrosynthèse 13.

Des solvants organiques sont nécessaires quasi uniquement pour les réactifs peu
solubles dans l'eau comme les acides carboxyliques ou AGV à longues chaînes
25 carbonées. Dans ce dernier cas, le méthanol, l'éthanol et l'isopropanol peuvent être des solvants de choix. Alternativement, de par leur faible solubilité en solution aqueuse, ces acides carboxyliques ou AGV à longues chaînes carbonées peuvent être facilement séparés et concentrés afin de subir l'étape d'électrolyse dans un deuxième temps et aboutir à de forts rendements en produits électrolytiques.

Dans la mesure où il est possible, en variante non obligatoire, d'utiliser une cellule d'électrolyse divisée, les produits formés respectivement à l'anode et à la cathode peuvent être facilement séparés.

Alternativement, tous les composés obtenus par électrosynthèse peuvent être
5 récupérés dans un seul récipient et séparés ou transformés par la suite.

Une fois collectés, les produits gazeux 15 formés à l'issue de l'électrosynthèse 13 comme l'hydrogène, le dioxyde de carbone, les alcanes, les alcènes peuvent être, à titre d'exemple non limitatif, comprimés et séparés par liquéfaction gazeuse, comme indiqué précédemment sous la référence 8.

10 Dans un autre mode de réalisation, il est possible d'envisager l'utilisation de membranes semi-poreuses dans des cellules électrochimiques doubles pour séparer les deux électrodes. Aussi, les électrodes peuvent être placées très proches l'une de l'autre afin d'éviter les arcs électriques.

D'autre part, les produits 14 obtenus à l'issue de cette étape de conversion
15 électrochimique sont, entre autres, des mélanges d'hydrocarbures, de l'hydrogène, du dioxyde de carbone qui ne contiennent pas de contaminant par rapport, entre autres, aux gaz naturels issus de l'industrie pétrolière.

En variante, afin d'augmenter les rendements de la synthèse par électrolyse, on utilise des techniques supplémentaires comme, par exemple, les ultrasons, les champs
20 magnétiques, du courant alternatif.

A l'issue de l'électrosynthèse 13, les résidus 16 d'AGV non transformés repartent, pour partie, à l'étape 6 pour être extrait, (étape 9) et/ou subir une nouvelle électrosynthèse (étape 13). Une partie des résidus 16 est recyclé à l'étape 17, à savoir gazéifiée, incinérée ou transformée. Les métabolites fermentaires, tels que les acides
25 gras volatils et les substrats résiduels issus des différentes étapes de fermentation 5, extraction 9 ou électrosynthèse 13 sont méthanisés (étape 17) pour produire des fertilisants et des amendements, regroupés sous la référence 18 et du biogaz 19. Cette étape de méthanisation 17 est, selon une approche d'écologie industrielle, également appliquée à une fraction 20 de résidus ou de substrats non fermentés. Ainsi, on produit

de l'énergie et de la chaleur, typiquement par cogénération. Cette production d'énergie et de chaleur est, au moins en partie, utilisée pour couvrir les besoins énergétiques du procédé.

Ainsi, le procédé de l'invention permet de produire, avantageusement en continu, et avec un rendement élevé des molécules à base carbonée avec une perte minimale de carbone organique initial.

Les exemples suivants illustrent la mise en œuvre du procédé objet de l'invention avec différents substrats et conditions de fermentation.

Exemple 1 : Fermentation discontinue de coproduits d'abattoirs en bioréacteur en mode non stérile

Un réacteur de fermentation ou bioréacteur de 5L de volume utile contenant un milieu de culture anaérobie (0,5 g/L K_2HPO_4 , 0,5 g/L KH_2PO_4 , 1,0 g/L $MgSO_4$, 0,1 g/L $CaCl_2$, 1 mL/L hémine et 5 mL/L de vitamines) à une concentration de 100 g/L d'un mélange de déchets d'abattoirs non stérilisés (sang, viscères, matières stercoraires, déchets de viandes, en ratio 1/1/1/2) a été inoculé à une température de 38°C sous agitation avec un consortium de microorganismes naturels provenant d'écosystèmes anaérobies comme la zone anoxique de lac hyper-oligotrophe, tel le lac Pavin. Pendant 1042 heures de fermentation, neuf opérations de fed-batch et 6 ajouts de substrats carnés (886 g de matières sèches au total) non stériles ont été réalisés. Durant cette fermentation, des suivis des métabolites en phase liquide et en phase gazeuse ont été réalisés. Les produits de fermentation de la phase liquide ont été suivis et analysés. En fin de fermentation, le milieu de fermentation contenait 16 g/L d'acides gras volatils totaux. Le rendement obtenu est de 0,38 g d'AGVs totaux / g de matière sèche ajoutée au réacteur. Cet exemple est à considérer comme un essai de référence, aucune extraction et/ou électrosynthèse synthétique chimique, à la différence du procédé de l'invention, n'ayant été réalisée.

Exemple 2 : Fermentation semi-continue de fractions organiques d'ordures ménagères en bioréacteur en mode non stérile.

On répète l'exemple 1 avec le même milieu de culture mais en utilisant un substrat composé de la fraction fermentescible des ordures ménagères à une concentration de 50

g/L de matière sèche en lieu et place des déchets d'abattoirs. De plus, et conformément au procédé de l'invention, des extractions sont menées sur le milieu au cours de la fermentation. Ici la fermentation se déroule sur plus de 2000 heures et plusieurs séquences d'extraction in situ sont réalisées dans le bioréacteur. L'extraction est de type
5 liquide-liquide étant entendu que les acides gras volatils sont toujours produits en phase liquide et que le solvant mis en œuvre pour cet exemple est le pentane. Ces opérations ont permis d'une part de diminuer la concentration finale en acides gras totaux avec, par exemple, une extraction où la concentration dans le réacteur est passée de 26,8 g/L à 20,1 g/L d'AGVs totaux (23% de diminution), ce qui permet de réduire l'acidité du milieu et donc
10 de préserver une activité optimale du consortium M de microorganismes. L'extraction permet également de récupérer des acides gras volatils qui ont été utilisés pour diverses synthèses chimiques à l'instar de la production d'esters et d'amides.

Ces opérations d'extraction in situ ont permis de montrer la biocompatibilité du procédé, autrement dit la récupération séquentielle de métabolites d'intérêt énergétique et
15 chimique, tels que des acides gras volatils, à partir de biomasse via un procédé combinant des étapes de fermentation et d'extraction. Cette biocompatibilité est caractérisée par le nombre de microorganismes par ml présents dans le bioréacteur déterminé par la technique d'analyse de cytométrie en flux. Ces résultats sont, par exemple, entre des échantillons prélevés avant et après extraction in situ, de $2,3 \cdot 10^8$ à $8,0 \cdot 10^7$
20 microorganismes/ml, dans une série de mesures et de $2,9$ à $2,3 \cdot 10^8$ microorganismes/ml pour une autre série de mesures. Ceci montre qu'il y a une diminution de la population de microorganismes présents dans le bioréacteur, suite à l'extraction des acides gras volatils, mais que cette diminution n'entraîne pas de destruction massive des microorganismes. La population en microorganismes est suffisante, quantitativement et
25 qualitativement, pour que les microorganismes soient actifs et qu'il n'y ait pas, ou très peu, de perte de l'activité fermentaire du consortium de microorganismes.

Dans un autre mode de réalisation, l'extraction peut être réalisée, sans contraintes irréversibles, directement dans le réacteur de fermentation 4. Il est possible d'effectuer une fermentation 5 en mode continu avec l'extraction 9 des métabolites

inhibiteurs de fermentation, c'est-à-dire en extrayant les acides gras volatils responsables de l'acidose du milieu au fur et à mesure de leur production. En variante, ces opérations d'extraction peuvent être réalisées dans un second compartiment, ce dernier pouvant être situé dans le bioréacteur 4.

- 5 Les essais suivants illustrent l'étape d'électrosynthèse à partir d'acides gras volatils comme précurseurs, étant entendu qu'il est nécessaire d'utiliser ces acides gras volatils sous forme de carboxylate lors de ces réactions chimiques.

Exemple A :

10 Une solution d'acétate de sodium à 1M a été soumise à une réaction d'électrolyse mettant en œuvre des électrodes en graphite avec une densité de courant de 100 mA/cm².

Au bout de 180 minutes de réaction, 63% de la concentration initiale en acétate a été consommée. Les métabolites obtenus en phase gazeuse sont de l'hydrogène (350 ml soit 15 mmol), du dioxyde de carbone (330 ml soit 13,8 mmolC), du méthane (7 ml soit 0,3 mmolC) et de l'éthane (30 ml soit 2,51 mmolC). Les métabolites obtenus en phase liquide
15 sont de l'acétate de méthyle (66 mg soit 0,9 mmol) et du méthanol (87 mg soit 2,7 mmol). Le bilan Cmol (Cmol.Produit/Cmol.Substrat) de cette réaction est de 0,9±0,1. Les rendements en hydrogène, en dioxyde de carbone, en éthane, en méthane, en acétate de méthyle et en méthanol sont respectivement de 473 ml/g d'acétate, de 446 ml/g d'acétate, de 41 ml/g d'acétate, de 10 ml/g d'acétate, de 90 mg/g d'acétate et de 118 mg/g d'acétate.

20 **Exemple B :**

On répète l'exemple A mais avec du propionate de sodium à 1M comme substrat. Au bout de 180 minutes, 56% de la concentration initiale en propionate a été consommée. On obtient dans la phase gazeuse de l'hydrogène, du méthane, du dioxyde de carbone, de l'éthène et du butane et, dans la phase liquide, on obtient de l'éthanol et du propionate
25 d'éthyle.

Des réactions d'amidation ont été également menées :

Exemple C : Amidation-acétate

La réaction d'amidation est réalisée dans un montage à reflux à partir d'un mélange d'une solution d'acide acétique biosourcée et une solution d'ammoniac dans des conditions

stœchiométriques. Le mélange réactionnel est chauffé à 80°C pendant 4 heures, puis les excédents de réactifs sont éliminés par distillation. Le produit de la réaction est recristallisé afin d'obtenir l'acétamide biosourcée. Le rendement de la réaction d'amidation dans ces conditions est de 63%.

5 **Exemple D :Amidation- butyrate**

On répète l'exemple C mais avec une solution d'acide butyrique biosourcée et à une température de 90°C. Au bout de 5 heures et après recristallisation du butyramide biosourcé, le rendement de la réaction d'amidation est de 69%.

Exemple E : Amidation- mélange d'AGV

10 On répète l'exemple C avec un mélange d'acides gras volatils biosourcés (acides acétique, propionique, butyrique, isobutyrique, isovalérique, valérique, isocaproïque, caproïque, heptanoïque, octanoïque...) issus de la phase d'extraction comme décrit dans les exemples précédents à une température de 85°C. Au bout de 6h, après élimination des excédents de réactifs par distillation et après recristallisation des amides biosourcées, le
15 rendement de la réaction d'amidation est de 74%. Les amides biosourcés obtenues sont les amides correspondants aux acides carboxyliques biosourcés présents dans le mélange (acétamide, propanamide, isobutyramide, butyramide, isovaléramide, valéramide, isohexanamide, hexanamide, heptanamide et octanamide...).

Ces réactions d'amidation qui permettent de produire à partir d'acides gras volatils
20 biosourcés des amides biosourcées peuvent être réalisées également avec des amines substituées afin d'obtenir des amides secondaires et tertiaires.

Des réactions d'estérification ont été également menées.

Exemple F : Estérification d'un mélange d'AGV

Pour réaliser cette estérification, un mélange équimolaire d'acides gras volatils biosourcés
25 obtenus après fermentation et extraction (acides acétique, propionique, butyrique, isobutyrique, isovalérique, valérique, isocaproïque, caproïque, heptanoïque, octanoïque, phenyl acétique, phenyl propionique) (2 mL) et d'éthanol (1,51 mL) est mis à reflux pendant 1h15. De l'acide sulfurique (54µL) est ajouté initialement au milieu réactionnel en tant que catalyseur. En fin de réaction, on retrouve par chromatographie en phase

gazeuse les esters éthyliques correspondant aux acides présents dans le mélange initial c'est-à-dire dans l'exemple: l'acétate d'éthyle, du propionate d'éthyle, de l'isobutyrate d'éthyle, du butyrate d'éthyle, de l'isopentanoate d'éthyle, du pentanoate d'éthyle, de l'isohexanoate d'éthyle, de l'hexanoate d'éthyle, de l'heptanoate d'éthyle, de l'octanoate d'éthyle, du phenylacetate d'éthyle et du phenylpropionate d'éthyle. Un rendement de conversion de 69% des acides carboxyliques en esters est obtenu.

Il est ainsi montré que les métabolites fermentaires tels que les AGV, à savoir selon les exemples A à F et de manière non limitative, les acides acétique, propionique, butyrique, isobutyrique, isovalérique, valérique, isocaproïque, caproïque, heptanoïque, octanoïque, phenyl acétique, phenyl propionique sont aisément utilisables comme précurseurs de molécules finales d'intérêt économique et énergétique, étant entendu que ces métabolites sont produits par une fermentation.

On a ainsi un procédé global dont les différentes étapes peuvent être effectuées en décalé. Par ce terme, on désigne des étapes qui peuvent être répétées à différents moments et/ou en différents lieux. En d'autres termes, le procédé présente une grande adaptabilité et une grande souplesse de production.

La mise en œuvre d'un tel procédé implique non seulement la présence dans l'installation d'au moins un réacteur de fermentation mais également au moins un organe d'extraction, adapté pour mettre en œuvre l'étape 9 d'extraction et au moins un organe de synthèse, adapté pour mettre en œuvre l'étape d'électrosynthèse 13 ou, en variante, une autre étape chimique. Ces organes sont connus en soi, leurs nombres et leurs dimensions étant adaptés au type de production.

Une telle installation comprend, avantageusement des organes de stockage du substrat 1 et/ou des produits issus des étapes d'extraction et/ou d'électrosynthèse et d'autres synthèses chimiques. Des moyens de gestion et de commande, tels que des capteurs de température, des sondes de pH, sont prévues.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de production de molécules organiques finales à partir de substrat formé par de la biomasse fermentescible, comprenant une étape de fermentation anaérobie, produisant des acides gras volatils (AGV) dits précurseurs, les précurseurs étant transformés en molécules organiques finales par voie non fermentaire, le procédé consistant à:

a) produire des acides gras volatils ayant une chaîne carbonée de 1 à 8 carbones en phase liquide lors de la fermentation anaérobie initiée par des micro-organismes,

b) extraire une partie des acides gras volatils présents dans une partie de la phase liquide dans des conditions non létales pour les micro-organismes pendant la fermentation anaérobie et collecter une phase liquide résiduelle après extraction, la phase liquide résiduelle contenant une partie des micro-organismes introduits à l'étape a),

c) réintroduire une partie de la phase liquide résiduelle contenant les micro-organismes dans la phase liquide de la fermentation anaérobie de l'étape a),

d) synthétiser des molécules organiques à partir de la partie des acides gras volatils extraite à l'étape b), et

e) poursuivre les étapes a) à d) jusqu'à l'obtention, en quantité et en qualité, des molécules organiques finales.

2. Le procédé selon la revendication 1, dans lequel avant l'étape a), on inocule dans un réacteur de fermentation un mélange (M) de microorganismes provenant d'écosystèmes naturels définis.
3. Le procédé selon la revendication 1 ou 2, dans lequel les étapes a) à e) sont réalisées en continu.
4. Le procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel les résidus issus du procédé sont adaptés pour être utilisés comme amendement.
5. Le procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel les résidus issus du procédé sont adaptés pour être utilisés comme fertilisants.
6. Le procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel les résidus issus du procédé sont adaptés pour être utilisés pour produire du méthane.
7. Installation pour mettre en œuvre le procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, comprenant au moins :
 - un réacteur de fermentation,
 - un organe d'extraction propre à assurer l'extraction des acides gras volatils contenus dans la phase liquide produite lors de la fermentation, et

- un organe de synthèse, choisi parmi un réacteur chimique et une cellule d'électrolyse, propre à assurer la synthèse des molécules organiques finales à partir des acides gras volatils extraits à l'étape b).

8. L'installation selon la revendication 7, comprenant au moins un organe de stockage du substrat.

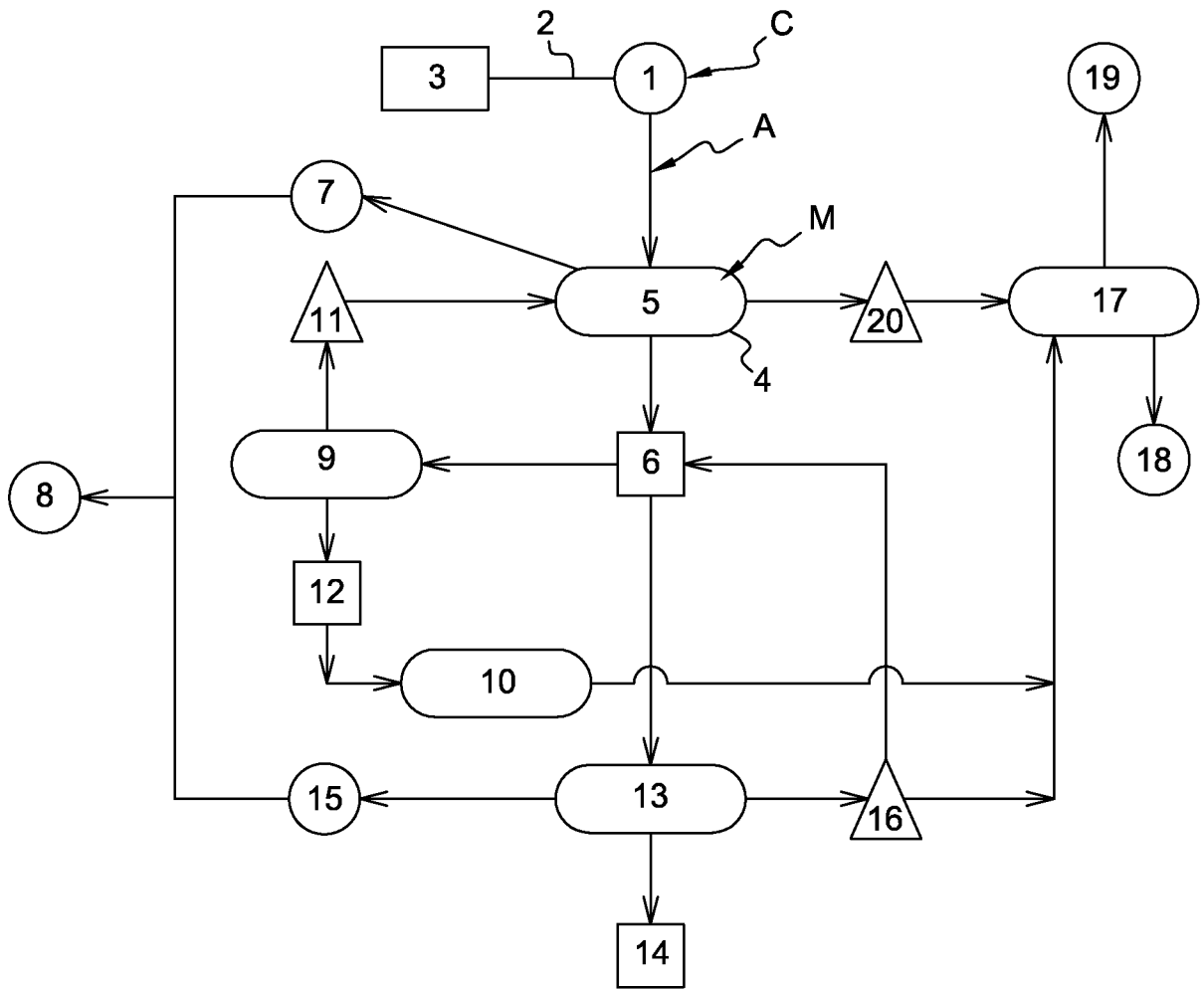


Fig. 1

