Le projet français P.I.V.E.R.T.

Jean-François ROUS

SAS P.I.V.E.R.T.,
11, Rue de Monceau,
CS 60003
75 378 Paris
Cedex 08,
France
<j.rous@prolea.com>

Article reçu le 12 juillet 2012

Accepté le 17 octobre 2012

Abstract: The P.I.V.E.R.T. project

P.I.V.E.R.T. is an ambitious project of development of the 3rd generation biorefinery by 2020. Conceived around a technological complex with strict environmental criteria (aiming at obtaining a label HQE), P.I.V.E.R.T. federates all the national and main roads lifeblood, of the sector (some international partnerships are also under development). The major objectives of the P.I.V.E.R.T. project are: a valorization of oilseeds, proteins and lignocellulosic plant in its entirety (approach "entire plants"); an operation in closed circuit on the level of water and energy exchanges, the platform providing for its own needs, in a logic of industrial ecology; collection and valorization of a significant part of the CO₂ produced by the activities of the refinery. Two strategies will be developed jointly: on one hand the development of "platform" molecules entering the traditional circuits of chemistry, on the current markets with the renewable character, in addition, the development of new molecules having new properties, thus giving access to new markets. Thanks to the research and development realized by researchers dedicated to P.I.V.E.R.T., the industrial partners will have access to a capable structure to develop, and to test demonstrators preceding future industrial production units. Certain technological bricks could be tested in a large scale industrial platform dedicated to operational integration of innovations. The development of programming technologies of refineries will give to P.I.V.E.R.T. the means to develop new innovative processes and will give to the industrials the possibility of modeling their future production units.

Key words: P.I.V.E.R.T., project, 3rd generation biorefinery, valorization, industrial platform, innovation

Depuis les années 1980 et lors de la Commission mondiale sur l'Environnement et le Développement de 1987 (Harlem Brundtland, 1987), le monde a pris conscience de l'importance de s'engager dans une approche de développement durable. Ce dernier doit répondre aux besoins de la génération actuelle sans pour autant compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs.

La France s'engage fortement dans cette voie de développement durable, convaincue qu'elle sera source d'une nouvelle croissance verte (Stratégie nationale de développement durable, 2010). Le Grenelle de l'Environnement a indiqué que l'écologie industrielle représente une démarche stratégique permettant une meilleure adéquation entre la rentabilité de nos systèmes

industriels et la limitation de leur impact sur l'environnement. Concrètement, la France s'est fixée des objectifs particulièrement ambitieux et le Grenelle de l'Environnement prévoit d'ici à 2020 (Pignault, 2009) 600 000 emplois créés et 450 milliards d'euros cumulés de 2009 à 2020.

Présentation de l'IEED (Institut d'excellence en énergie décarbonnée) P.I.V.E.R.T.

La chimie du végétal : une chimie plus verte

La chimie du végétal est la production de produits chimiques à partir de ressources renouvelables agricoles et forestières et

succède à une chimie fondée sur l'utilisation de ressources non renouvelables, le charbon (carbochimie) puis le pétrole (pétrochimie). C'est la nouvelle chimie économiquement durable. Alors que depuis dix ans l'emploi dans l'industrie chimique diminue car elle se délocalise vers les pays producteurs de pétrole ou de gaz, la chimie du végétal pourrait permettre de relocaliser la production à côté des ressources agricoles et forestières.

Pour se développer, l'industrie chimique doit pouvoir compter sur une base de ressources abondantes. Ainsi, la carbochimie, puis la pétrochimie se sont développées sur le charbon, puis le pétrole, car la disponibilité de ces matières premières était assurée. En effet, les besoins énergétiques et de transport modernes ont poussé l'exploit-

Pour citer cet article : Rous JF. Le projet français P.I.V.E.R.T. OCL 2012 ; 19(6) : 370-378. doi : 10.1684/ocl.2012.0432

tation d'énormes quantités de charbon puis du pétrole, permettant à l'industrie chimique de se développer avec quelques pourcentages de ces quantités. La chimie du végétal s'appuie sur l'agriculture qui fournit des ressources renouvelables et des développements important liés à l'alimentation et aux besoins énergétiques. Les produits obtenus sont issus des huiles et de l'amidon ou des sucres.

La chimie du végétal n'est pas en compétition avec l'alimentation car elle utilise une faible part des terres arables. En 2006, 6 000 millions de tonnes de ressources renouvelables ont été utilisées par l'homme comme suit : 62 % pour l'alimentation, 33 % pour le bois de construction, le papier et le bois de chauffage et 5 %, soit 300 millions de tonnes, pour la chimie et l'industrie (Kamm, 2006).

Des atouts compétitifs pour la France

Le principal atout de la France est de regrouper une position forte en agriculture et en chimie : la France est le deuxième acteur européen de la chimie avec un chiffre d'affaire de 68 milliards d'euros en 2009 (15 % des ventes européennes et cinquième acteur mondial). Cependant ce nombre décroît de 2 % par an depuis 10 ans. L'ambition économique est de prendre le leadership du marché de la chimie du végétal, marché mondial de l'ordre de 300 milliards d'euros en 2020, avec une croissance estimée de 10 % à 15 % par an. Cependant, peu de choses sont structurées en France, dans la filière des oléagineux.

Des enjeux technologiques identifiés

Le segment le plus prometteur pour la chimie du végétal est la chimie fine et de spécialités dont la valeur ajoutée permet de financer les innovations nécessaires (Carole *et al.*, 2004). Les applications sont déjà nombreuses : solvants pour les encres et peintures, adhésifs et colles, huiles et graisses de lubrification, surfactants et tensio-actifs, applications des lipides dans les cosmétiques, etc. Les segments les plus volumineux et donc de moindre valeur ajoutée, les plastiques et la chimie de base, se développeront en second lieu (Nowicki *et al.*, 2008) (tableaux 1 et 2).

Les bioraffineries

La bioraffinerie repose sur un ensemble de bio-industries intégrées. Elle utilise un éventail de technologies pour fabriquer des produits chimiques, des biocarburants, des biomatériaux, des aliments et ingrédients alimentaires, des fibres ainsi que de l'énergie sous forme de chaleur et d'électricité. Elle vise à maximiser la valeur ajoutée sur les trois piliers du développement durable : environnement, économie et société.

La France est un des pays européens les plus riches en biomasse (De Cherisey *et al.*, 2007). À ce titre et pour réduire sa dépendance énergétique et ses émissions de gaz à effet de serre, elle s'est lancée dans un plan ambitieux de développement des biocarburants entraînant celui des bioraffineries de 1^{re} et 2^e générations. Le nouvel enjeu industriel est de développer une 3^e génération de bioraffineries qui combine différentes sources de matières premières pour produire de multiples produits chimiques, ainsi que des biocarburants¹.

La compétition internationale est ouverte

Compte tenu de ces enjeux, la compétition internationale est engagée. Le département américain de l'énergie investit 700 millions de dollars pour les bioraffineries (703 millions de dollars de subvention en 2009 du DOE, département américain de l'énergie pour 19 projets de démonstration de bioraffineries). La Commission européenne a décidé de lancer un programme spécifique aux bioraffineries dans le cadre du 7^e PCRD (Programme cadre de recherche et développement). Aux vues des investissements sur les différentes zones géographiques, l'ambition de l'IEED P.I.V.E.R.T. est de devenir le leader européen.

Ce leadership se développera par la maîtrise des procédés et l'efficacité économique. L'ambition de P.I.V.E.R.T. et des campus d'innovation technologique mondiaux est de développer les outils nécessaires pour améliorer la compétitivité économique et technique des bioraffineries. Ces performances viendront de l'optimisation des pro-

cédés de fermentation par batch ou en continu, de la maîtrise de la catalyse et de la biocatalyse, de la rationalisation des étapes de prétraitement, de la possibilité de transformer des matières premières végétales d'origine variées (résidus de l'agriculture, forêts, herbes, etc.) en un maximum de molécules.

Pour atteindre ces objectifs, l'IEED P.I.V.E.R.T. associe dans son fonctionnement et dans sa gouvernance, une R&D générique en amont, et une volonté forte d'industrialisation portée par les industriels, des chimistes, des équipementiers et des services d'ingénierie.

Enjeux économiques et sociaux

Evaluation des marchés existants et de leur potentiel

En Europe, le secteur de la chimie représente 449 milliards d'euros en 2009 (24 % des ventes mondiales) (Cefic, 2010). Sa croissance est estimée à 2 % pour l'année 2011 et elle représente 1 200 000 emplois dont 180 000 emplois directs en France (tableaux 3 et 4), correspondant à 1 000 000 d'emplois directs et indirects (le facteur des emplois indirects de l'industrie chimique est de 3 à 5 selon les données du Grenelle de l'Environnement, de 5,5 selon l'ACC). De par sa dépendance au pétrole, l'industrie chimique est menacée car très dépendante du prix et de la disponibilité du pétrole, ce qui explique son actuelle délocalisation vers les pays producteurs de pétrole ou de gaz. Ses coûts principaux sont ainsi répartis : 12 % de coûts salariaux ; 28 % de coûts d'énergie ; 42 % de coûts de matières premières en grande majorité d'origine pétrolière (Cefic Chemdata International, 2010). La chimie du végétal utilise quant à elle, des ressources agricoles et forestières. Elle constitue ainsi une alternative avec des matières premières renouvelables, contrôlées et locales.

La chimie du végétal pourrait permettre donc de pérenniser et de développer des emplois verts sur des marchés biosourcés en croissance, et surtout non délocalisables à terme. D'après différentes sources d'information, le marché de la chimie du végétal au niveau mondial est de l'ordre de 300 milliards d'euros à horizon 2020, avec une

¹ cf. <http://www.biorefinery-euroview.eu/biorefinery/public/index.html>

Tableau 1. *Tableau croisé technologies-applications dans le domaine de la chimie.*

Secteurs applicatifs			
Technologies	Intermédiaires de synthèse	Chimie fine et de spécialité	Chimie de formulation
Transformation de la biomasse	Voie thermique (pyrolyse, gazéification, torréfaction)	Brevets de production du glycérol Brevets de production de l'acroléine, acide acrylique	Brevets sur la préservation et l'enrichissement des composants minoritaires des lipides Brevets sur la synthèse de lipides dérivés des bioraffineries Brevets sur de nouvelles méthodes de purification des lipides provenant des produits biosourcés
	Voie physico-chimique		
Utilisation des procédés	Biotechnologies industrielles	Brevets sur la production de lipides structurés possédant des propriétés nutritionnelles d'intérêt Caractérisation de l'impact des composés sur l'homme et l'animal Brevets sur la production d'acides gras inhabituels	Brevets sur la production de lipides dérivés possédant un intérêt biotechnologique Brevets sur la conversion des acides gras Brevet sur un système catalytique à 60 % de conversion et 50 % de sélectivité
	Chimie catalytique		
	Physico-chimie des milieux dispersés	Caractérisation des phases lipidiques Caractérisation des propriétés des cristaux liquides Caractérisation des interactions entre lipides et biomembranes, cellules et tissus	
Informatique industrielle	Logiciel et base de données analytique des graines		
	Outils de simulation et de modélisation	Logiciel et base de données des levures et plantes Logiciel et base de données de caractérisation des produits intermédiaires	

Tableau 2. *Tableau croisé technologies-applications dans le domaine des équipements et de l'ingénierie industrielle.*

Technologies		Secteurs applicatifs	
		Équipements liés aux développements des technologies	Services et ingénierie industrielle
Transformation de la biomasse	Voie thermique (pyrolyse, gazéification, torréfaction)	Brevets sur des procédés thermochimiques optimisés	Développement des connaissances pour les calculs de simulation et de programmation linéaire de la bioraffinerie de 3 ^e génération
	Voie physico-chimique	Brevets sur des nouveaux procédés de prétraitement	
Utilisation des procédés	Biotechnologies industrielles	Développement d'équipements spécifiques pour les biotechnologies industrielles	
	Chimie catalytique	Brevet sur des systèmes catalytiques fonctionnant sans solvant ou avec des solvants éco-responsables Brevets sur l'implantation du CO ₂ comprimé pour la catalyse	
	Physico-chimie des milieux dispersés	Brevets sur des méthodes de purification et/ou de production de lipides structurés	
Informatique industrielle	Outils de simulation et de modélisation	Logiciel de modélisation des phénomènes induits par les nouveaux prétraitements Logiciel de modélisation du pressage sous conditions intensifiées Logiciel de modélisation d'ultrafiltration dynamique	Logiciel de test pour évaluer et adapter les performances environnementales des bioraffineries implantées Evaluation et prévention des risques industriels Modélisation conceptuelle pour l'évaluation environnementale de la bioraffinerie

croissance annuelle de 10 % à 15 % (tableau 5). Selon le Grenelle de l'Environnement et le département américain de l'Agriculture, la chimie du végétal représente 4 % de la chimie dans le monde. Cette part passerait à 13 % de la chimie en 2020 et constituerait un marché de 330 milliards d'euros. À l'échelle française et européenne, pour les industriels chimistes partenaires de l'Institut P.I.V.E.R.T., les matières premières renouvelables représentent en

moyenne 8 % de leurs achats. Ce taux devrait passer aux alentours de 15 % d'ici 2020, et le chiffre d'affaires alors dégagé grâce à la chimie du végétal devrait représenter plus de 5 milliards d'euros. Il est estimé que P.I.V.E.R.T. sera contributeur d'une part significative de ce chiffre. La chimie du végétal ne représente en 2009 que 33 000 emplois directs en France et atteindra 95 000 emplois à l'horizon 2020 ce qui correspond à une croissance annuelle de

10 % et 62 000 nouveaux emplois. Ces emplois représentent une opportunité pour la France en opposition aux pertes actuelles de l'industrie chimique française prévoyant une suppression de 30 000 postes d'ici 2020 (– 17 % d'ici à 2020) (CARMEE, 2009) (tableau 5).

En outre, il ne faut pas oublier que, parallèlement aux industries de l'agroalimentaire, de la chimie et de l'énergie, les ingénieurs européens ont développé

Tableau 3. *Emplois et chiffre d'affaires de l'industrie chimique (France, Europe, Monde)*

Zone géographique	Chiffre d'affaires de la chimie 2009	Chiffre d'affaires de la chimie 2020	Emplois directs de l'industrie chimique 2009
France	68 G	85 G€ (2 %/an)	180 000 ^a
Europe	449 G€	560 G€ (2 %/an)	1 200 000 – 2 % d'emplois/an depuis 10 ans
États-Unis	347 G€	480 G€ (3 %/an ^b)	800 000 ^c – 2 % d'emplois/an depuis 10 ans
Monde	1 871 G€	2 600 G€ (3 %/an)	5 000 000

^a Union des industries chimiques (UIC).

^b USDA – Biobased products : market potential, 2008.

^c Bureau of Labor Statistics-Employment, 2009, et American Chemistry Council (ACC).

Tableau 4. Chiffre d'affaires de la chimie du végétal (France, Europe, Monde).

Zone géographique	Part 2009 de la chimie du végétal (% de la chimie)	Part 2020 de la chimie du végétal (% de la chimie)	Croissance de la chimie biosourcée
France	3 G€ (4 %)	14 G€ (15 %) ^a	15 %/ an ^b
Europe	20 G€ (4 %) ^c	80 G€ (14 %)	13 %/ an
États-Unis	14 G€ (4 %) ^d	75 G€ (15 %)	15 %/ an
Monde	80 G€ (4 %)	330 G€ (14 %)	10-15 %/ an

^aGrenelle de l'environnement et déclaration des industriels partenaires de P.I.V.E.R.T.

^bL'objectif du Grenelle de l'Environnement est de passer de 5,3 % en 2005 à 15 % en 2015 en utilisation de matières premières renouvelables.

^cSix Lead Market Initiative, Agence exécutive pour la compétitivité et l'innovation (AECI).

^dBiotechnology industry organisation (BIO) – Biobased chemicals and products.

un marché d'équipements, de machines et de procédés industriels. Pour l'industrie chimique (qui représente 11 % de ce marché européen, selon l'association européenne Orgalime, European Engineering Industries Association), les fournisseurs d'équipements et de machines représentent un marché européen de 20 milliards d'euros. 600 entreprises françaises y occupent une position forte avec 30 000 emplois directs et un chiffre d'affaires de 5 milliards d'euros (GIFIC, 2009). Ce domaine réalise 45 % de sa valeur à l'exportation, démontrant une expertise technique reconnue. En parallèle, en Europe, le marché des services en ingénierie industrielle (ingénierie pour les infrastructures, les installations industrielles et services d'ingénierie spécialisés) représente 70 milliards d'euros (EFCA, 2009). La France occupe une position avancée avec 215 000 emplois directs et un chiffre d'affaire de 36 milliards d'euros (Syntec-Ingénierie, 2008). Ce domaine connaît une croissance soutenue de 3 % par an, et les exportations représentent 30 % du chiffre d'affaires.

Cependant, malgré cet attrait pour la chimie du végétal, l'Europe est en retard par rapport à des pays comme les États-Unis ou le Brésil. Les projets de développement de bioraffineries y sont encore trop rares, et les investissements restent insuffisants pour permettre à la recherche de s'y atteler. De plus, les utilisateurs finaux ne sont pas prêts à dépenser plus, bien que la demande augmente. Le développement des marchés dépendra des efforts réalisés pour améliorer la compétitivité de la chimie du végétal. Le regroupement des différents types de partenaires privés et publics s'avère donc nécessaire

pour permettre aux technologies de se développer.

Une évaluation et une démonstration des avantages environnementaux et socio-économiques des bioproduits doivent être mises en place. Les bioproduits ne pourront s'imposer sur le marché et y gagner des parts que s'ils apportent la preuve d'un véritable avantage environnemental, économique et social. L'analyse du cycle de vie (ACV) est une méthodologie qui s'impose aujourd'hui pour mesurer les impacts environnementaux des produits (figure 1). Le pôle Industries & Agro-Ressources (IAR) et ses partenaires ont souhaité créer un consortium pour répondre collectivement aux demandes des acteurs de la filière en ACV dans le secteur des agroressources. La démarche IAR-ACV vise à concevoir, mettre au point puis diffuser un guide méthodologique ACV durabilité appliqué aux filières agroressources².

En conclusion, la chimie du végétal est un secteur en croissance qui apporte des emplois locaux : pour l'industrie chimique qui innove et diminue sa dépendance au pétrole ; pour l'industrie des équipements et des machines industrielles pour la chimie ; et pour les services en ingénierie industrielle qui se développent avec l'industrie associée. L'objectif de P.I.V.E.R.T. est d'être l'institut d'excellence qui développe ces marchés d'application.

Débouchés de l'IIED P.I.V.E.R.T.

P.I.V.E.R.T. trouve des applications dans les différents secteurs de la chimie, de l'agroalimentaire et de l'ingénierie

² <http://www.iar-pole.com/fr/index02.php?page=sousrubrique&id=5&idsousrub=144>

industrielle. L'industrie des huiles et de la lipochimie que représente P.I.V.E.R.T. trouve aujourd'hui ses applications dans la chimie de spécialités et de formulation.

Chimie de base

Parmi les principaux intermédiaires de synthèse, on compte en particulier : le glycérol, du niveau d'importance de l'éthanol (Werpy et Petersen, 2004) comme molécule-plateforme avec des dérivés comme l'épichlorhydrine, et potentiellement le PDO (propan-1,3-diol) ou le 3 HPA (acide hydroxypropionique) ; l'acide acrylique (colle, textile, peinture, revêtement, résines) ; l'acroléine (pharmacie, plastiques, cosmétique).

Les solvants issus du végétal ou agrosolvants seront utilisés dans les domaines des encres et peintures, de la détergence et des produits phytosanitaires par les partenaires chimistes ainsi que ces intermédiaires de synthèse.

Chimie fine et de spécialités

Les produits de la chimie de spécialité (additifs, catalyseurs, plastifiants, surfactants) en lien avec P.I.V.E.R.T. sont les suivants : les corps gras (acides/amines/alcools gras) qui trouvent leurs applications dans la pharmacie, la cosmétique, l'alimentation, mais également dans la détergence, les peintures et colles, ou les bioproduits ; les dérivés des triglycérides ; les produits agroalimentaires intermédiaires, arômes, ingrédients et additifs alimentaires. On peut citer comme exemple l'acide linoléique conjugué (CLA) pour le contrôle de la prise de poids.

Ce domaine concerne particulièrement les partenaires chimistes et agrochimistes.

Tableau 5. Situation économique et perspectives pour l'IEED P.I.V.E.R.T.

		Secteurs applicatifs		
		Marché de la chimie du végétal	Equipements liés aux développements technologiques	Services et ingénierie industrielle
Situation économique actuelle	Taille du marché européen	20 G€	20 G€	70 G€
	Nombre d'emplois en France	33 000	30 000	190 000
Perspectives et objectifs économiques	à 3 ans	Taille du marché européen	33 G€	79 G€
		Part de marché des partenaires	11 % du marché européen	18,50 %
		Nombre d'emplois en France	48 000	210 000
	à 6 ans	Taille du marché européen	50 G€	89 G€
		Part de marché des partenaires	12 % du marché européen	19 %
		Nombre d'emplois en France	69 000	230 000
	à 10 ans	Taille du marché européen	80 G€	105 G€
		Part de marché des partenaires	13 % du marché européen	20,00 %
		Nombre d'emplois en France	95 000	260 000

Chimie de formulation

La chimie de formulation sera ciblée par le développement de formules sur le site de P.I.V.E.R.T. Les débouchés seront les colles, les cosmétiques, les lubrifiants, les peintures, etc. Par exemple, des mélanges d'esters sont utilisés comme lubrifiants.

La chimie de spécialité et de formulation devrait représenter plus de des deux

tiers de la chimie du végétal à horizon 2020 (tableau 6).

Équipements et services

Les équipements liés aux développements des technologies et les services et l'ingénierie industrielle seront étudiés et évolueront sur P.I.V.E.R.T. Des équipements innovants seront installés et renouvelés. En effet, les besoins de la chimie du végétal en nouveaux pro-

cédés sont une source d'innovation pour les équipementiers. L'exportation des technologies liées à la bioraffinerie de troisième génération, voire même la construction de bioraffineries, constitue sur le long terme une voie d'application souhaitée pour les équipementiers partenaires de l'IEED. De la même façon, des acteurs de l'énergie y développent une expertise sur l'utilité et la valorisation énergétique de la biomasse.

Figure 1. Démarche IAR-ACV.

Tableau 6. Marchés de la chimie du végétal de 2009 à 2020 (Europe)

secteurs (hors Pharmacie)	Taille du marché en 2009 en Europe	estimée en 2020 en Europe	en 2020 en Europe (% de la chimie)
Intermédiaires de synthèse, chimie de base	112 G€	140 G€	7 G€ (5 %) ^{j, k}
Chimie fine, spécialités Dont surfactants	117 G€ 9 G€	145 G€ 12 G€ ^a	36 G€ (25 %) ^{j, k} 3 G€ -25 %
Plastiques (amidon/sucres)	103 G€ ^b	130 G€	5 G€ ^c 2 % Europe (2020) ^l 10 % US (2025) ^j
Chimie de formulation	63 G€	78 G€	19 G€ – 25 %
Dont peintures	20 G€ ^d	25 G€ ^e	6 G€ – 25 %
Dont colles et adhésifs	10 G€ ^f	13 G€ ^j	3 G€ – 25 %
Dont solvants	3 G€ ^g	4 G€	1 G€ (25 %) ^j
Dont lubrifiants	1,3 G€ ^h	2 G€ ⁱ	0,5 G€ (24 %) ^j
Inorganique	54 G€	67 G€	-
TOTAL EUROPE	449 G€	560 G€	80 G€ – 14 %

^a World Surfactant market, Acmite Market Intelligence, 2008.

^b La croissance des bioplastiques dans le monde est évaluée de 0,36 MT en 2007, 2,33 MT en 2013 et 3,45 MT en 2020.

^c 1 million metric ton in 2020, PRO-BIP, 2009.

^d 25-27 milliards de litres, soit 90 G\$ avec un croissance de 5 à 7 % par an (Orr & Boss ; Inc., 2007).

^e 7 % en Europe 2002-2007, 3 % en Amérique du Nord, 13 % en Asie – Prévisions 2008-2012 : 0,5 %/2 %/9 % (Fédération).

^f Étude prospective sur le collage en France – DIGITIP – 2002.

^g 2,5-3 G€, ISIG et CEFIC.

^h www.carbohydrateeconomy.org/library/admin/uploadedfiles/Harvesting_Lubricants.htm

ⁱ Bio-based lubricants: a market opportunity study update, B. Bremmer & L. Plonsker, 2008.

^j USDA – Biobased products: market potential, 2008.

^k Biotechnology industry organisation (BIO) – Biobased chemicals and products.

^l La croissance des bioplastiques dans le monde est évaluée de 0,36 MT en 2007, 2,33 MT en 2013 et 0,45 MT en 2020 pour une production mondiale de plastiques de 245 MT en 2007 (Plastics Europe, 2007).

Objectifs et programmes de R&D

Trois programmes synergiques

P.I.V.E.R.T. comportera trois types de programmes, en synergie les uns avec les autres :

- un programme de recherche générique (GENESYS, *figure 2*) financé par les partenaires industriels et les Investissements d'Avenir dans un mode ouvert : les résultats seront accessibles à l'ensemble des partenaires ;
- des projets collaboratifs faisant intervenir les partenaires dans le cadre d'une relation contractuelle spécifique avec P.I.V.E.R.T. ;
- la genèse de la bioraffinerie de 3^e génération, le BIOGIS Center, véritable plateforme évolutive pour développer une stratégie de « métabolisme industriel » en s'appuyant sur les résultats des

autres programmes, GENESYS en particulier. Cette conception de la bioraffinerie est en soi un programme de recherche et d'innovation.

Le programme GENESYS prendra son essor dès le début avec ses pleines capacités au cours des trois premières années. Les projets collaboratifs seront mis en place, et progressivement d'autres projets alimentés par les résultats de GENESYS suivront. Le volume de GENESYS connaîtra une décroissance progressive parallèle à la montée en puissance des projets collaboratifs des acteurs industriels. La genèse de la bioraffinerie P.I.V.E.R.T. sera alimentée par les résultats produits par le programme GENESYS et par l'essor des projets collaboratifs. Les équilibres entre les types de programmes permettront de maximiser les résultats pour l'essor de la filière et l'épanouissement de l'écosystème que

constitue P.I.V.E.R.T., tout en respectant les intérêts de chacun des partenaires.

L'objectif principal de P.I.V.E.R.T., en particulier de GENESYS, est de jeter les bases d'une bioraffinerie pour les plantes oléagineuses et les lipides, par l'optimisation de toute la chaîne de production. Depuis la production des plantes avec l'agronomie, la récolte, la logistique jusqu'aux produits industriels biosourcés pour la chimie, les cosmétiques, la nutrition et la santé en passant par le fractionnement de la biomasse, la transformation et la formulation. La stratégie consiste à développer des approches innovantes et des procédés respectant les principes de la chimie verte. Les programmes de P.I.V.E.R.T. seront construits autour de trois fondements du développement durable : environnement, société et économie. Cette approche est complétée par l'évaluation des risques spécifiques de la démarche

Figure 2. GENESYS, programme de recherche générique de P.I.V.E.R.T., financé par les partenaires industriels et les Investissements d'Avenir dans un mode ouvert.

proposée. Une analyse des cycles de vie sera réalisée en intégrant toutes les étapes depuis les productions de la biomasse jusqu'aux produits finaux et la bioraffinerie des oléagineux sera modélisée dans une logique de « métabolisme industriel ».

7 secteurs scientifiques concernés

Les secteurs scientifiques concernés par les programmes de P.I.V.E.R.T. seront au nombre de sept :

- l'adaptation, la mobilisation et la complémentarité des agroressources oléagineuses ;
- les procédés physiques et thermo-chimiques de fractionnement de la biomasse ;
- la catalyse et la biocatalyse pour l'oléochimie, avec la mise en place de nouvelles réactions chimiques catalysées homogènes, hétérogènes ou enzymatiques ;
- le métabolisme des lipides, de la plante aux microorganismes ;
- l'auto-assemblage des lipides pour la formulation et les créations de nano-objets ;
- les nouveaux procédés pour obtenir des lipides d'intérêt pour la nutrition et la santé ;
- la prise en compte de l'écologie industrielle pour la réalisation de la bioraffinerie des oléagineux.

Figure 3. Implantation du BIOGIS Center, plateforme technologique de P.I.V.E.R.T., au sein du campus d'innovation technologique (R < 1 km).

Implantation du BIOGIS Center, plateforme technologique de P.I.V.E.R.T.

Le site retenu pour l'implantation de la plateforme BIOGIS se situe sur le Parc Technologique des Rives de l'Oise, à côté du site industriel de Sofiprotéol (figure 3). Ce site a été choisi pour :

- sa proximité avec des centres de recherches publics et privés et d'un centre industriel ayant des activités en chimie du végétal ;
- les possibilités d'extension du site ;
- la disponibilité des sources d'énergie ;
- la possibilité d'avoir accès à une station de traitement des effluents liquides ;
- l'environnement du site sensibilisé aux contraintes industrielles ;
- les infrastructures d'accès au site déjà existantes ;

– la présence du Parc Technologique des Rives de l'Oise dont les activités sont cohérentes et complémentaires pour le développement à moyen et long terme du BIOGIS Center.

Conflits d'intérêts : JFR est salarié de Sofiprotéol.

RÉFÉRENCES

Carole TM, Pellegrino J, Paster MD. Opportunities in the Industrial Biobased Products Industry. In : M. Finkelstein, J.D. McMillan, B. H. Davison, B. Evans (Eds.), *Biotechnology for Fuels and Chemicals-The Twenty-Fifth Symposium*. Applied Biochemistry and Biotechnology 2004 ; vol. 113-116 (12 Issues), Humana press Inc.

Cefic. *Facts and Figures: The European chemical industry in a worldwide perspective: 2010*. Cefic Chemdata International, 2010.

Contrat d'Etudes Prospectives de l'Industrie Chimique « Emploi Compétences », CAR-MEE, 2009.

De Cherisey H, Roy C, Pouet JC (Eds.). *La valorisation de la biomasse. Guide d'information à l'attention des administrations et des établissements publics*. Mars 2007. La valorisation de la biomasse, ADEME, 2007.

GIFIC, Groupement interprofessionnel pour les fournisseurs des industries chimique, FIM, Fédération des Industries Mécaniques, 2009.

EFCA, European Federation of Engineering Consultancy Associations, 2009.

Harlem Brundtland G (Eds.). *Notre avenir à tous*. Rapport de la Commission Mondiale sur l'Environnement et le Développement de l'ONU, présidée par Madame Gro Harlem Brundtland, avril 1987.

Kamm B, R. Gruber P, Kamm M. Industrial chemicals from biomass, In: Thoen et Busch (eds.), *Biorefineries-Industrial Processes and Products: Status Quo and Future Directions*. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2006.

Nowicki P, Banse M, Bolck C, Bos H, Scott E. *Biobased economy*. State-of-the-art assessment. LEI, The Hague, 2008.

Pignault G. Grenelle de l'environnement – plan de mobilisation nationale sur les métiers liés à la croissance verte. Décembre 2009.

Stratégie nationale de développement durable. Stratégie nationale de développement durable 2010-2013 : vers une économie verte et équitable, 27 juillet 2010. <http://www.developpement-durable.gouv.fr/-Strategie-nationale-de,3900-.html>.

Syntec-Ingénierie. *Les derniers chiffres-clés de l'ingénierie*. Publié le 10 décembre 2008. <http://www.syntec-ingenierie.fr/actualites/2008/12/10/les-derniers-chiffres-cles-de-lingenierie-2008/>.

Werpy T, Petersen G (Eds). *Top Value Added Chemicals From Biomass. Volume I: Results of Screening for Potential Candidates from Sugars and Synthesis Gas*. Department of Energy (DOE), USA, 2004.