



Appel à projet n° 2-23

Date limite d'envoi des réponses : **Lundi 15 février 2021**

Avis d'experts Recyclage chimique et biochimique des déchets plastiques

Contexte

Le contexte du devenir des plastiques en fin de vie est en pleine évolution. La prise de conscience est massive et ce à l'échelle mondiale. En France, parmi les objectifs stratégiques de la loi relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire, on retrouve l'article suivant : « Tendre vers l'objectif de 100 % de plastique recyclé d'ici le 1^{er} janvier 2025 ». A l'international et notamment en Europe, suite aux nombreuses communications consacrées à la pollution par les plastiques et à la fermeture aux imports de déchets plastiques de plusieurs pays dont la Chine, la question du devenir de gisements habituellement non recyclés en Europe est une préoccupation de plus en plus importante.

Face à ces constats, à l'avenir, il faudra donc mieux capter les gisements en fin de vie et envisager de nouvelles voies de recyclage. Si l'on veut notamment pouvoir réintégrer ces flux dans les filières d'élaboration des plastiques vierges, il faut pouvoir disposer d'une matière secondaire recyclée de haute qualité, idéalement pouvoir retourner aux monomères ou à des intermédiaires qui composent les polymères couramment utilisés. Le recyclage chimique ou biochimique, en complément du recyclage mécanique apparaît donc comme une approche d'avenir pour la valorisation des plastiques usagés.

Par recyclage chimique ou biochimique, on entend ici la possibilité soit de régénérer les monomères initiaux (ou des composés intermédiaires) pouvant être engagés à nouveau dans la synthèse de plastiques, soit d'aboutir à un mélange de polymères légers, sous forme d'huile, formant l'équivalent d'un naphta pétrolier, lui-même précurseur d'oligomères. **La filière plastique-carburant (*plastic-to-fuel*) ne fait donc pas partie de notre champ d'analyse.**

On rappelle ici les principales voies de dépolymérisation chimique et biochimique des plastiques. :

- ☞ **La dissolution sélective par précipitation** dans un solvant ou un mélange de solvants spécifiques. Ce procédé permet de séparer les chaînes moléculaires, mais ne les casse pas. Il n'entraîne donc pas de modification chimique des polymères. Ce type de procédé permet de recycler le polymère lui-même, sans avoir à repasser par le monomère. Cette technique peut aussi permettre **d'extraire certaines substances indésirables** comme les charges minérales ou les additifs.
- ☞ La **solvololyse** qui met en œuvre des réactions chimiques entre un polymère et un solvant, conduisant à sa dégradation / dépolymérisation. L'utilisation d'un cosolvant permet de régénérer le monomère de départ ou d'aboutir à la production d'oligomères. Selon le solvant utilisé, on parle de glycolyse, méthanolyse, hydrolyse, aminolyse ou ammonolyse.
- ☞ **La dépolymérisation thermique rapide**, qui permet le craquage pyrolytique des chaînes polymères et ce, par un traitement thermique flash, en atmosphère réductrice et en présence ou non de catalyseurs. On distingue quatre types de craquages :
 - Craquage thermique ou dépolymérisation thermique non-catalytique,
 - Craquage catalytique ou dépolymérisation thermique catalytique
 - Vapocraquage : dépolymérisation en présence de vapeur d'eau,
 - Hydrocraquage, ou dépolymérisation catalytique par hydrocraquage, en présence d'hydrogène.

Ce type de traitement permet d'aboutir au monomère initial ou à la fourniture d'une huile équivalente à un naphta pétrolier.

- ☞ **La dépolymérisation enzymatique** : certaines enzymes agissant en tant que catalyseurs peuvent dégrader les chaînes de polymères. Par exemple le PET à 60°C est dépolymérisé à plus de 90% en quelques heures sous forme de monomères.

*Nous rappelons que la phase de dépolymérisation des plastiques décrite ci-dessus n'est qu'une étape des procédés de recyclage chimique ou biochimique. Ceux-ci nécessitent ensuite des étapes de purification et d'extraction des monomères. **Ces étapes sont fondamentales et critiques dans tous les procédés de recyclage chimique. Elles seront donc particulièrement intéressantes à analyser dans le cadre de ce projet.***

Sur la base de ces différentes approches, quelques unités industrielles fonctionnent dès à présent et de très nombreux travaux, à échelle pilote ou semi-industrielle, ont été réalisés ou sont en cours de développement dans le monde.

Ces différentes technologies, connues pour la plupart depuis longtemps, ont souvent, par le passé, montré leurs limites : conditions opératoires délicates, rendements matière médiocres, modèle économique non viable. C'était d'ailleurs l'objet d'une étude conduite par RECORD en 2015¹. Toutefois, le changement de paradigme évoqué plus haut peut faire bouger ces limites. C'est pourquoi l'Association RECORD et ses membres souhaitent reprendre ce sujet et ainsi actualiser et compléter le travail réalisé en 2015.

Objectifs

L'objet du présent programme est :

- dans un premier temps, d'établir une revue internationale de cadrage sur le recyclage chimique et biochimique des déchets plastiques. Le proposant aura l'opportunité de s'appuyer sur les **très nombreuses études récentes produites à ce sujet dans le monde**.
- dans un deuxième temps, de réaliser un « avis d'experts », pour lequel le prestataire animera un groupe de travail international constitué d'experts du domaine, dans le but d'apporter des compléments et surtout un avis critique sur les informations disponibles dans la littérature actuelle mais aussi d'identifier les tendances et les technologies les plus prometteuses. La situation de l'équilibre économique de telles installations sera un point important de cet avis d'experts.

Du fait de l'importance que RECORD y accorde, nous souhaitons que le temps et les moyens consacrés à cette phase soient plus importants que ceux consacrés à l'établissement de la revue de cadrage.

Le rendu final sera bâti comme un document de synthèse des deux étapes de l'étude. Le bilan portera sur la maturité des différentes technologies de recyclage chimique et biochimique développées dans le but d'une valorisation matière, les résines adressées (éventuellement en mélange), leurs points forts et faiblesses (au regard du bilan CO₂, rendement matière, bilan énergétique, bilan économique, scalability), et perspectives de développement (Europe et international) au regard du paysage réglementaire et des technologies alternatives ou complémentaires (valorisation matière par recyclage mécanique, valorisation énergétique).

¹ « *Recyclage chimique des déchets plastiques : Situation et perspectives. Etat de l'art et avis d'experts* » (RECORD, 2015, réf. 13-0242/1A)

Contenu de l'étude - Programme de travail

L'équipe retenue réalisera, dans un premier temps, une **revue de cadrage** du sujet¹ (échelle internationale). En amorçage du travail bibliographique, quelques entretiens de cadrage sont à prévoir notamment avec les organismes français ayant des études en cours et ce afin de mutualiser nos efforts sur un plan national. Les contacts sur ce point sont d'ores et déjà préparés par RECORD.

Cette revue se devra de traiter *a minima* les points suivants :

- ☞ Une présentation synthétique des différentes technologies de recyclage chimique et biochimique (enzymatique principalement) ainsi que les conditions opératoires requises et les sources d'énergie mobilisées. Pour chacune de ces technologies, seront précisés le niveau actuel de développement (niveau de TRL), les capacités en place et celles en projet. Les procédés seront présentés par famille de technologies de manière à clarifier le sujet.
- ☞ Pour chaque technologie :
 - les gisements potentiellement mobilisables par ce type de procédés et lorsqu'il existe, la complémentarité avec le recyclage mécanique
 - les contraintes à appliquer au tri en amont des déchets plastiques, à la préparation de la charge entrante, à la nature des polymères accessibles par cette technologie,
 - Les données de performance, de rendement et de qualité des matières obtenues (niveau de pureté et possibilité d'élimination des indésirables), et dispositifs complémentaires (purification, extraction) à mettre en œuvre,
 - Les données économiques disponibles, associées à chaque technologie, en prenant soin de prendre en compte les phases amont et aval nécessaires au bon fonctionnement de la technologie en question.
 - Les données environnementales associées à chaque technologie intégrant les coûts énergétiques.
- ☞ Les différentes situations réglementaires et fiscales associées aux installations ainsi qu'aux différents produits sortant de celles-ci.
- ☞ Des modèles économiques références² : à l'aide des données recueillies et des REX d'opérations de recyclage chimique et/ou biochimique, le contractant bâtira le business-plan « d'unités de référence », basés sur quelques technologies identifiées en amont et choisies en concertation avec RECORD en cours d'étude.

¹ Cette revue fera partie des livrables rendus à RECORD mais sera également utilisée par le prestataire comme support, lors de la construction des échanges avec les experts. Elle devra donc au-delà de « l'état de l'art », mettre en avant les faiblesses, les manques et les discordances de la bibliographie actuelle de manière à faire s'exprimer les experts sur ces sujets.

² Ces business plans références seront ensuite présentés aux experts compétents qui porteront un avis circonstancié sur la viabilité économique de ces technologies dans le contexte actuel européen des plastiques en fin de vie.

Sur la base de cette revue de cadrage et des questions restées en suspens (manque d'information, points de divergence, etc.), le proposant constituera un groupe d'experts d'horizons variés (chercheurs, institutionnels, industriels, bureaux d'études) et multidisciplinaire (process, évaluation environnementale, évaluation économique, etc.). Ce groupe par sa complémentarité devra être en mesure de couvrir les aspects techniques, économiques et environnementaux. Afin d'élargir la vision nationale, des experts étrangers seront à mobiliser. La constitution de ce groupe ainsi que les principales questions à investiguer avec eux seront soumises à l'avis de RECORD lors de l'avancement de l'étude.

Le proposant pourra ainsi, avec l'aide du groupe d'experts, bâtir un document précisant leurs retours d'expérience ainsi que les perspectives de développement des procédés de recyclage chimique et biochimique **en France et dans le monde**.

Il intégrera aux discussions et débats *a minima* les points suivants :

- Les principaux problèmes techniques et opérationnels rencontrés par chacune des technologies étudiées. Quels sont les principaux problèmes opérationnels qui limitent l'amélioration des performances de ces technologies ?
- Les rendements réels et les bilans énergétiques associés ainsi que les types d'énergie utilisée,
- Les choix d'un procédé de recyclage chimique le plus adapté à une résine donnée,
- Le cas des déchets plastiques en mélange et des composites,
- Les principales tâches de maintenance préventive que nécessitent ces installations (nettoyage continu ou discontinu, traitements préventifs anti-corrosion, etc.),
- Les traitements en aval nécessaires : traitement des eaux usées, traitement des émissions atmosphériques, etc.
- La taille critique d'une installation,
- La qualité des matières obtenues (niveau de pureté et possibilité d'élimination des indésirables), ainsi que la description du post-traitement nécessaire pour atteindre une qualité compatible avec les voies de valorisation envisagées,
- La problématique économique, dans le but de fixer les ordres de grandeurs des CAPEX et des OPEX des installations de recyclage chimique et biochimique des plastiques. Le groupe d'experts s'appuiera en particulier sur les REX d'expérimentations ou d'installations réalisées dans le monde,
- Les leviers et solutions à mettre en œuvre pour dépasser les difficultés actuelles (difficultés techniques, réglementaires et viabilité des modèles économiques).
- Les complémentarités et les concurrences avec les autres voies de valorisation (recyclage mécanique et valorisation énergétique notamment *via* les CSR),

- Le bilan environnemental. Une attention particulière sera portée sur les bilans CO₂ du recyclage chimique et biochimique (en comparant les technologies entre elles, etc.) en prenant, comme base de référence, un polymère vierge pétrosourcé ou recyclé mécaniquement,
- L'état de maturité des résultats d'ACV des filières de recyclage chimique et biochimique des plastiques, et plus globalement les bénéfices environnementaux du recyclage chimique

A l'issu du travail, le contractant réalisera un travail de synthèse basé sur sa revue bibliographique et sur les discussions et débats avec les experts, sur les différents points évoqués plus haut, pour lesquels ils auront été sollicités.

→ *Le proposant rédigera une réponse argumentée, proposant une **organisation pertinente** aussi bien de la mission que des livrables.*

→ *Dans sa réponse, le prestataire définira la **méthodologie** qu'il compte employer pour chacune des parties, notamment pour la phase d'avis d'experts (constitution du panel, mode de discussion-réunions, par groupe spécialisé, entretiens, questionnaire, etc.). D'ailleurs, une première liste d'experts pourra être proposée dans la réponse.*

→ *Il sera intéressant pour RECORD de lire dans les réponses un premier draft des questionnements à envisager avec les experts.*

Durée de l'étude

10 à 13 mois

Cadre budgétaire

40 000 euros hors taxes

Déroulement de l'étude et livrables exigés

- **Déroulement d'une étude et procédures à suivre :**

<https://www.record-net.org/deroulement-etude/>

- Il est à noter qu'en fin de projet, à l'issue des réunions de travail telles que décrites dans la page ci-dessus, l'équipe organisera une réunion de restitution d'une heure environ par web conférence (système supporté par RECORD). Ce webinar aura pour but de présenter de manière didactique,

les résultats détaillés de l'étude à l'ensemble des membres de RECORD et à toute personne que RECORD souhaitera convier.

- **Livrables**

- Au minimum, 2 rapports intermédiaires en français (rapports « rédigés », pas de rendu sous forme de Powerpoint),
- 1 rapport final en français (rapport « rédigé », pas de rendu sous forme de Powerpoint),
- 1 diaporama en français présentant de manière synthétique les principaux enseignements de l'étude (PowerPoint d'une vingtaine de slides),
- 1 diaporama en anglais présentant de manière synthétique les principaux enseignements de l'étude (PowerPoint d'une vingtaine de slides),
- 1 synthèse détaillée des travaux en français et en anglais (environ 3000 mots par langue),
- Animation d'un webinar (comme explicité ci-dessus).

Des compléments d'information concernant ces livrables (modèles à suivre, diffusion, etc.) sont disponibles via le lien mentionné ci-dessus.

Valorisation

Si le contenu du travail réalisé le permet, l'équipe retenue sera tenue de participer, à la demande de RECORD, à des actions de valorisation des résultats acquis au terme de ce projet (publication, séminaire). La réponse à cet appel pourra intégrer un développement sur ce point (valorisation envisagée : oui / non, moyens de valorisation adaptés au sujet, etc.).

Dépôt des projets

Les projets devront impérativement être présentés en utilisant le **formulaire** disponible sur le site de RECORD, à la page de parution des appels d'offre.

Les réponses sont à retourner pour le **LUNDI 15 FEVRIER 2021** dernier délai (date d'envoi du courriel et du dépôt sur le site).

Chaque dossier doit impérativement être fourni à la fois :

1/ Par dépôt à l'adresse suivante :

<https://record-net.org/appels-d-offres>

2/ Par courriel à l'adresse :

contact@record-net.org

Evaluation des réponses

Au-delà de la conformité des réponses aux consignes mentionnées ci-dessus et au modèle de réponse demandé par RECORD, les principaux critères d'évaluation seront la qualité et l'argumentation de la réponse, les compétences de l'équipe candidate (expériences, publications, etc.), la qualité et la disponibilité du personnel mis à disposition pour la réalisation du projet.