



UNIVERSITÉ D'ARTOIS

Service des Affaires
Générales et Juridiques

Délibération du Conseil d'administration
n° 2021 - 049
Séance du 9 juillet 2021

Convention de financement dans le cadre de l'appel GRAINE 2019 de l'ADEME pour le projet BIOGRAFIC « Valorisation des cendres de BIOMasse en tant que GRANulats et Filler dans des blocs de construction » - Laboratoire LGCgE

Condition d'acquisition du vote :

Quorum = *moitié des membres en exercice présents ou représentés*
Acquisition de la délibération = *majorité des membres présents ou représentés*

Nombre de membres en exercice : 35

Nombre de membres présents (en visioconférence et physiquement) : 23

Nombre de membres représentés : 3

Nombre de vote pour : 26

Nombre de vote contre :

Nombre d'abstentions :

La convention de financement dans le cadre de l'appel GRAINE 2019 de l'ADEME pour le projet BIOGRAFIC « Valorisation des cendres de BIOMasse en tant que GRANulats et Filler dans des blocs de construction » - Laboratoire LGCgE annexée à la présente délibération, est approuvée.

Fait à Arras, le 9 juillet 2021

Le Président,
Pasquale MAMMONE



Numéro : 2003C0078-D

Intitulé du projet : GRAINE 2019 - Projet BIOGRAFIC.

Montant aide maximum : 105 832,04 euros

Convention de financement

Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

Entre :

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, établissement public de l'Etat à caractère industriel et commercial, régi par les articles L131-3 à L131-7 et R131-1 à R131-26 du code de l'environnement

ayant son siège social : **20, avenue du Grésillé - BP 90406 - 49004 ANGERS CEDEX 01**

inscrite au registre du commerce d'Angers sous le n° **385 290 309**

représentée par **Monsieur Arnaud LEROY**

agissant en qualité de **Président Directeur Général**

désignée ci-après par "**l'ADEME**"

d'une part,

Et

UNIVERSITE D ARTOIS , Établissement public national à caractère scientifique culturel et professionnel

9 RUE DU TEMPLE

62030 ARRAS CEDEX

N° SIRET : 19624401600016

Représentant : Pasquale MAMMONE

agissant en qualité de Président

ci-après désigné(e) par "**le Bénéficiaire**"

d'autre part,

Vu les Règles générales d'attribution des aides de l'ADEME adoptées par son Conseil d'administration par délibération n°14-3-7 du 23/10/2014 modifiée (ci-après « les Règles générales ») et disponibles sur le site internet de l'ADEME à l'adresse suivante www.ademe.fr,

Vu la demande d'aide présentée par le Bénéficiaire en date du 19/06/2020,

Vu la délibération du Conseil d'administration de l'ADEME n°14-3-3 du 23 octobre 2014 modifiée relative au système d'aides à la connaissance

Vu le régime d'aides de l'ADEME exempté de notification n° SA.40265 modifié relatif aux aides à la recherche, au développement et à l'innovation (RDI) pour la période 2014-2023 (aides à la connaissance),

Vu la sélection du projet dans le cadre de l'appel à projets GRAINE 2019 : Gérer, produire et valoriser les biomasses,

L'UNIVERSITE D'ARTOIS agit au nom et pour le compte du Laboratoire Génie Civil et géo-Environnement (LGCgE),

Il a été arrêté et convenu ce qui suit :

ARTICLE 1 - OBJET

La présente Convention de financement a pour objet de définir les caractéristiques de l'opération envisagée et de fixer le montant, ainsi que les conditions d'attribution et d'utilisation de l'aide financière accordée au Bénéficiaire par l'ADEME.

ARTICLE 2 – DEFINITION DE L'OPERATION

L'opération envisagée est la suivante : GRAINE 2019 - Projet BIOGRAFIC.

2.1 Description

L'acronyme BIOGRAFIC signifie : Valorisation des cendres de BIOmasse en tant que GRANulats et Filler dans des blocs de Construction.

L'objectif du projet BIOGRAFIC est d'évaluer le potentiel de valorisation de cendres issues de chaudières biomasse à lit fluidisé en tant que substitut des granulats naturels dans des bétons secs à démoulage immédiat pour la fabrication de blocs de maçonnerie pour la construction. La substitution du sable et gravillon permettra de valoriser un volume important de cendres. L'introduction d'un sous-produit issu de la biomasse dans une matrice cimentaire doit cependant faire l'objet d'une étude préalable vu la complexité de l'interaction des cendres avec l'eau de gâchage et les différents constituants du béton. Les performances sanitaires et environnementales des blocs de maçonnerie incorporant des cendres de biomasse devront également être évaluées.

L'étape laboratoire est incontournable avant d'envisager un passage à l'échelle industrielle et montrer la faisabilité des caractéristiques du produit final à commercialiser. Une phase de test industriel, c'est-à-dire la fabrication à une grande échelle des mélanges validés en laboratoire est prévue. Les blocs fabriqués seront envoyés au CERIB pour des essais complémentaires qui pourraient aboutir à la certification du produit en vue d'une commercialisation.

2.2 Contexte

Les installations à la biomasse produisent aujourd'hui plus de 200 000 tonnes de cendres en France. Ces cendres représentent une quantité importante de déchets que les exploitants des centrales biomasse doivent valoriser ou éliminer, en fonction de la typologie des cendres (sous-foyer, volantes), de la technologie de combustion utilisée (chaudières à grille, lit fluidisé, spreader stocker) et des filières de traitements existantes (valorisation agronomique, envoi en centre d'enfouissement, etc.). Une étude territoriale et économique a permis d'estimer à environ 12,6 kt et 37,7 kt respectivement pour l'hypothèse basse et l'hypothèse haute les gisements de cendres de biomasse disponibles dans la région Hauts-de-France et à 5,0 kt et 15,7 kt respectivement pour l'hypothèse basse et l'hypothèse haute pour le territoire breton. Ce chiffre est voué à augmenter du fait du développement croissant de ce type de chaufferie.

Une voie de valorisation intéressante des cendres de chaufferie bois concerne leur utilisation dans des matériaux de construction. Chaque année en France, plus de 117 millions de tonnes de granulats sont utilisées, dont la grande majorité sont issus de l'extraction des carrières ou des fleuves. Or, ces ressources se raréfient et sont de plus en plus difficilement accessibles. Le secteur du BTP a développé des matériaux en substituant une partie des matières premières traditionnelles (ciment, granulats) par des matières premières secondaires (laitiers de haut fourneau, cendres volantes, granulats recyclés, etc.).

Récemment, le projet ADEME Graine, intitulé « Valorisation des cendres de chaudière Biomasse dans l'élaboration de Matériaux composites pour le Génie Civil » (BIMGC) a montré la faisabilité d'utiliser les cendres sous-filtres (issues de chaudières à grille) en substitution du ciment.

2.3 Objectifs et résultats attendus

Les objectifs du projet BIOGRAFIC sont d'étudier la valorisation des cendres volantes et sous-foyer de chaudières biomasse à lit fluidisé, en développant des composites cimentaires pour la fabrication de blocs de construction avec des propriétés thermo-physiques conformes aux normes en vigueur (NF EN 771-3/CN). Les différentes phases du projet sont les suivantes :

- Identifier, caractériser et effectuer le criblage des cendres sélectionnées fournies par la Société Dalkia.
- Actualiser les flux de gisement sur les deux territoires de l'étude, les Hauts-de-France et la Bretagne, avec un focus sur les cendres issues des chaudières à lit fluidisé.
- Étudier la forte demande en eau de ces cendres qui a un impact sur la rhéologie et la résistance mécanique des produits élaborés.
- Étudier l'influence de la substitution de sable par des cendres sous-foyers broyées et l'ajout de cendres fines sous forme de fillers sur les propriétés de mise en œuvre et physico-mécaniques des mortiers.
- Déterminer les taux d'incorporation possibles de cendres de biomasse.
- Transposer l'étude aux bétons secs à démoulage immédiat.
- Démontrer la faisabilité de la fabrication du produit sur une chaîne de fabrication industrielle.
- Effectuer une analyse de cycle de vie (ACV) des blocs de construction.
- Étudier l'influence de la substitution de sable par des cendres sur les performances sanitaires et environnementales des blocs de maçonnerie.
- Établir un dossier technique préalable à une demande de certification des blocs de construction par le CERIB en vue d'une commercialisation par Carrières Biallais.

ARTICLE 3 – DUREE CONTRACTUELLE DE L'OPERATION

La durée contractuelle de l'opération ainsi envisagée sera de 30 mois à compter de la date de notification de la présente Convention de financement.

Afin de permettre à l'ADEME de suivre le déroulement de l'opération envisagée, le Bénéficiaire devra remettre à l'ADEME les documents indiqués ci-après.

Un Rapport d'avancement à remettre 21 mois avant la fin de l'opération contenant

des indications sur la réalisation du projet : avancement tâches / calendrier prévisionnel, rapport sur difficultés / points d'attention pour l'ADEME, principaux résultats, travaux à suivre. Pour plus de détails : voir l'annexe technique.

Un Rapport d'avancement à remettre 12 mois avant la fin de l'opération contenant

des indications sur la réalisation du projet : avancement tâches / calendrier prévisionnel, rapport sur difficultés / points d'attention pour l'ADEME, principaux résultats, travaux à suivre. Pour plus de détails : voir l'annexe technique.

Le rapport final devra être adressé à l'ADEME avant la fin de la durée contractuelle de l'opération sous format papier ou électronique (ou, à défaut, le déposer sur la plateforme informatique prévue à cet effet).

Il comprendra :

- un résumé en français et en anglais du contenu du rapport,
- une partie 1 portant sur le suivi du projet : difficultés rencontrées, atteinte des objectifs, verrous et perspectives,
- une partie 2 autoporteuse présentant de façon détaillée les résultats obtenus et les conclusions du projet.

Pour plus de détails : voir l'annexe technique.

ARTICLE 4 – COUT TOTAL ET DEPENSES ELIGIBLES

Le coût total prévisionnel de l'opération est de 227 443,11 euros dont la répartition par poste de dépenses figure ci-après. Il est, le cas échéant, détaillé en annexe.

Pour Recherche fondamentale et recherche en connaissances nouvelles :

Détails des coûts exprimés en HTR (Hors taxes récupérables auprès du Trésor public)	Coût total de l'opération	Dépenses éligibles à justifier
Personnel (salaires chargés non environnés)	153 454,49 €	77 200,00 €
Autres dépenses de fonctionnement	28 500,00 €	28 500,00 €
Charges connexes	45 488,62 €	45 488,62 €
TOTAL	227 443,11 €	151 188,62 €

Seules les dépenses réalisées entre la date de demande d'aide (19/06/2020) et la date de fin de l'opération sont éligibles à l'exception des dépenses liées à l'établissement du certificat de contrôle conformément à l'article 11-1 des Règles générales.

Les Règles générales d'attribution des aides de l'ADEME précisent les modifications possibles de la répartition prévisionnelle des dépenses éligibles entre les postes de dépenses.

ARTICLE 5 – NATURE ET MONTANT DE L'AIDE ATTRIBUEE

La subvention attribuée d'un montant maximum de 105 832,04 euros est calculée comme indiqué ci-après.

Pour Recherche fondamentale et recherche en connaissances nouvelles

Une aide prévisionnelle déterminée par application d'un taux d'aide de 70 % sur les dépenses éligibles à justifier, soit 105 832,04 euros.

Au regard des informations portées à la connaissance de l'ADEME par le(s) Bénéficiaire(s) à la date de notification, le cumul des aides publiques autorisé par la réglementation applicable (nationale ou communautaire) est respecté. Les Règles générales d'attribution des aides de l'ADEME rappellent les obligations d'information de l'ADEME en cas d'obtention de nouveaux financements.

L'aide ainsi accordée n'entre pas dans le champ d'application de la TVA du fait de l'absence de bénéfice direct.

ARTICLE 6 – CONDITIONS ET MODALITES DE VERSEMENT

Le montant fixé à l'article 5 ci-dessus sera versé au Bénéficiaire par l'ADEME selon les modalités ci-dessous.

N°	Echéance	% du montant de l'aide	Montant maximum du versement	Justificatif(s) à fournir
1	intermédiaire	50 %	52 916,02 €	- un état récapitulatif des dépenses certifié sincère par le représentant légal du Bénéficiaire, attestant de l'exécution de 50 % des dépenses éligibles à justifier - un relevé d'identité bancaire à jour au nom du Bénéficiaire - l'accord de partenariat signé

N°	Echéance	% du montant de l'aide	Montant maximum du versement	Justificatif(s) à fournir
2	solde	50 %	52 916,02 €	- un relevé d'identité bancaire à jour au nom du Bénéficiaire - un certificat de contrôle établi et signé par un comptable public, un commissaire aux comptes ou un expert-comptable indépendant ou à défaut de certificat de contrôle, les copies des factures d'un montant supérieur ou égal à 500€ TTC ou toute autre pièce de valeur probante permettant de justifier les dépenses réalisées pour l'opération - le rapport final mentionné à l'article 3

L'aide totale sera réajustée si le montant des dépenses éligibles réelles est inférieur au montant des dépenses éligibles prévisionnelles à justifier.

Cet ajustement se fera en appliquant aux dépenses éligibles réelles et justifiées, le(s) taux d'aide indiqué(s) à l'article 5.

Les versements seront effectués conformément aux conditions prévues à l'article 12-2 des Règles générales d'attribution des aides de l'ADEME.

ARTICLE 7 – CONDITIONS DE VERSEMENT

Le versement sera effectué sur le compte bancaire ouvert au nom du Bénéficiaire.

ARTICLE 8 – REGLES GENERALES D'ATTRIBUTION DES AIDES DE L'ADEME

Les Règles générales, visées ci-dessus, s'appliquent à la présente Convention de financement. Le Bénéficiaire est réputé en avoir pris connaissance et y avoir adhéré.

ARTICLE 9 – PUBLICATION DES DONNÉES ESSENTIELLES

L'ADEME est tenue d'une obligation de publier les données considérées comme essentielles dans le cadre de la présente Convention de financement et conformément à l'arrêté du 17 novembre 2017 relatif aux conditions de mise à disposition des données essentielles des conventions de subvention.

ARTICLE 10 – ENGAGEMENTS DU BÉNÉFICIAIRE

Le Bénéficiaire s'engage à garantir l'ADEME dans la réutilisation des documents et toute autre information et supports soumis aux droits d'auteur, qu'il a fait son affaire personnelle auprès du ou des auteurs titulaires des droits de propriété intellectuelle et/ou des droits à l'image sur leur propre création, des autorisations de réutilisation requises.

Conformément à l'article 2 des Règles générales d'attribution des aides de l'ADEME, le Bénéficiaire s'engage à associer l'ADEME lors de la mise au point d'actions de communication et d'information du public (inauguration de l'installation, ...) et à mentionner dans tous les supports de communication l'ADEME comme partenaire en apposant sur chaque support de communication produit le logo de l'ADEME ou la mention : opération réalisée avec le soutien financier de l'ADEME. Il fournira à l'ADEME les versions finalisées des supports avant leur réalisation, afin d'obtenir l'accord de l'ADEME au préalable.

Pour les investissements, le Bénéficiaire s'engage à poser un panneau sur le site de réalisation de l'opération, portant le logo de l'ADEME et mentionnant son soutien financier.

ARTICLE 11 – PIECES CONTRACTUELLES

Les pièces constitutives de la Convention de financement sont les suivantes :

- les Règles générales d'attribution des aides de l'ADEME susvisées
- la présente Convention de financement
- le détail de la répartition prévisionnelle des dépenses
- 1 annexe suivante :
 - Annexe technique-Univ Artois-BIOGRAFIC.pdf

ARTICLE 12 – DISPOSITION FINALE

Les charges connexes pour l'UNIVERSITE D'ARTOIS seront prises en compte à hauteur de 25% des coûts directs totaux de l'opération réalisés avec un maximum de 45 488,62 €.

A Angers,

Pour le(s) "Bénéficiaire(s)"

Pour "l'ADEME"

Signé électroniquement par : Emilie
MACHEFAUX
Date de signature : 09/04/2021
Qualité : Chef service adj. SA5B -
Serv Forêt, Alimentation et
Bioéconomie

ANNEXE

Détail de la répartition prévisionnelle des dépenses

Les notions de coût total et de dépenses éligibles sont définies à l'article 11.1 des Règles générales. Elles sont présentées hors TVA récupérable auprès du Trésor Public. Les règles de modification de la répartition des dépenses éligibles sont définies à l'article 11.6 des Règles générales.

Détails des coûts exprimés en HTR (Hors taxes récupérables auprès du Trésor public)	Coût total de l'opération	Dépenses éligibles à justifier
Personnel (salaires chargés non environnés)	153 454,49 €	77 200,00 €
Dépenses de personnel statutaire de la fonction publique	76 254,49 €	- €
Dépenses de personnel non statutaire de la fonction publique	77 200,00 €	77 200,00 €
Autres dépenses de fonctionnement	28 500,00 €	28 500,00 €
Frais de déplacements / Missions / Réceptions	11 500,00 €	11 500,00 €
Prestations extérieures - Autres dépenses de sous traitance (études / honoraires, etc.)	8 500,00 €	8 500,00 €
Autres dépenses (documentation, reproduction, petites fournitures, etc.)	8 500,00 €	8 500,00 €
Charges connexes	45 488,62 €	45 488,62 €
Coûts indirects : Frais généraux, frais de structure...	45 488,62 €	45 488,62 €
TOTAL	227 443,11 €	151 188,62 €

**ANNEXE 1 - ANNEXE TECHNIQUE DU PROJET BIOGRAFIC
AUX CONVENTIONS DE FINANCEMENT N°
2003C0078-A, 2003C0078-B, 2003C0078-C et 2003C0078-D
ENTRE Carrières Biallais, Cerib, UniLaSalle, l'Université d'Artois
et l'ADEME**

Acronyme	BIOGRAFIC
Titre du projet en français	Valorisation des cendres de BIOmasse en tant que GRAnulats et Filler dans des blocs de Construction
Mots clés :	chaufferie biomasse, lit fluidisé, cendres sous foyer, cendres volantes, granulats, filler, mortier, béton, formulation, blocs, construction, vibrocompactage, chaîne de fabrication industrielle
Coordinateur (nom et organisme) :	DJELAL Chafika (UArtois - LGCgE) PAGE Jonathan (UArtois - LGCgE)

1. Responsables Respectifs du contrat

- **pour l'ADEME**

Madame Anne-Laure DUBILLY (anne-laure.dubilly@ademe.fr / ☎ : 02.41.20.46.34) sera chargée du suivi technique du projet.

Madame Annabelle LOISEL (annabelle.loisel@ademe.fr / ☎ : 02.41.20.43.03) sera chargée des suivis administratifs et financiers.

- **pour le Bénéficiaire**

Monsieur Jonathan PAGE (jonathan.page@univ-artois.fr / ☎ : 07.66.50.63.83) sera chargé du suivi technique du projet.

Madame Chafika DJELAL-DANTEC (chafika.dantec@univ-artois.fr / ☎ : 06.07.53.10.73) sera chargée des suivis administratifs et financiers.

Les parties au présent contrat conviennent de s'informer mutuellement au cas où elles envisageraient de changer leur responsable respectif ainsi désigné.

2. Caractère collectif et coordination du projet

Le projet BIOGRAFIC sera mené en coopération entre les partenaires suivants :

Nom	Partenaires		N° contrat
	Suivi technique	Suivi administratif	
UArtois (LGCgE) (coordinateur)	Jonathan PAGE jonathan.page@univ-artois.fr ☎ : 07.66.50.63.83	Chafika DJELAL-DANTEC chafika.dantec@univ-artois.fr ☎ : 06.07.53.10.73	2003C0078-D
Carrières Biallais	Bruno BIALLAIS bbiallais@biallais.fr ☎ : 06.81.78.83.72	Bruno BIALLAIS bbiallais@biallais.fr ☎ : 06.81.78.83.72	2003C0078-A
Cerib	François JACQUEMOT f.jacquemot@cerib.com ☎ : 02.37.18.48.00	François JACQUEMOT f.jacquemot@cerib.com ☎ : 02.37.18.48.00	2003C0078-B
UniLaSalle	Hayet DJELAL hayetdjelal@ecole-eme.fr ☎ : 02.99.05.88.00	Caroline DUBOIS caroline.dubois@unilasalle.fr 02 32 82 91 22	2003C0078-C
UMons	Maurice GONON maurice.gonon@umons.ac.be ☎ : +3265374422	-	-
Dalkia	Karim TABET karim.tabet@dalkia.fr ☎ : 01.71.00.73.10	-	-

L'aide de l'ADEME apportée aux autres partenaires du projet fait l'objet de contrats séparés établis avec chacun d'eux.

Le projet sera réalisé sous la coordination d'UArtois - LGCgE (partenaire 1), représentée par Monsieur Jonathan PAGE désigné ci-après le coordinateur.

Les missions du coordinateur sont décrites aux chapitres 9 et 10.

A ce titre, **chaque partenaire s'engage à collaborer avec le coordinateur et à lui fournir les éléments nécessaires à son travail**. En particulier, les résultats du travail de chaque partenaire seront transmis au coordinateur 1 mois avant la date de remise à l'ADEME. De même, les partenaires devront informer sans délai le coordinateur de toute difficulté rencontrée au cours de la réalisation du projet.

Cette annexe technique présente le projet BIOGRAFIC dans son intégralité, c'est-à-dire qu'elle précise le travail qui sera réalisé par l'ensemble des partenaires.

3. Résumé du projet (non confidentiel)

Les installations à la biomasse produisent aujourd'hui plus de 200 000 tonnes de cendres en France. Ces cendres représentent une quantité importante de déchets que les exploitants des centrales biomasse doivent valoriser ou éliminer, en fonction de la typologie des cendres (sous-foyer, volantes), de la technologie de combustion utilisée (chaudières à grille, lit fluidisé, spreader stocker) et des filières de traitements existantes (valorisation agronomique, envoi en centre d'enfouissement, etc.).

Une voie de valorisation intéressante des cendres de chaufferie bois concerne leur utilisation dans des matériaux de construction. Chaque année en France, plus de 117 millions de tonnes de granulats sont utilisées, dont la grande majorité sont issus de l'extraction des carrières ou des fleuves. Or, ces ressources se raréfient et sont de plus en plus difficilement accessibles. Le secteur du BTP a développé des matériaux en substituant une partie des matières premières traditionnelles (ciment, granulats) par des matières premières secondaires (laitiers de haut fourneau, cendres volantes, granulats recyclés, etc.).

L'objectif du projet BIOGRAFIC est d'évaluer le potentiel de valorisation de cendres issues de chaudières biomasse à lit fluidisé en tant que substitut des granulats naturels dans des bétons secs à démoulage immédiat pour la fabrication de blocs de maçonnerie pour la construction. La substitution du sable et gravillon permettra de valoriser un volume important de cendres. Une étude territoriale et économique a permis d'estimer à environ 12,6 kt et 37,7 kt respectivement pour l'hypothèse basse et l'hypothèse haute les gisements de cendres de biomasse disponibles dans la région Hauts-de-France et à 5,0 kt et 15,7 kt respectivement pour l'hypothèse basse et l'hypothèse haute pour le territoire breton. Ce chiffre est voué à augmenter du fait du développement croissant de ce type de chaufferie. L'introduction d'un sous-produit issu de la biomasse dans une matrice cimentaire doit cependant faire l'objet d'une étude préalable vu la complexité de l'interaction des cendres avec l'eau de gâchage et les différents constituants du béton. Les performances sanitaires et environnementales des blocs de maçonnerie incorporant des cendres de biomasse devront également être évaluées.

L'étape laboratoire est incontournable avant d'envisager un passage à l'échelle industrielle et montrer la faisabilité des caractéristiques du produit final à commercialiser. Une phase de test industriel, c'est-à-dire la fabrication à une grande échelle des mélanges validés en laboratoire est prévue. Les blocs fabriqués seront envoyés au CERIB pour des essais complémentaires qui pourraient aboutir à la certification du produit en vue d'une commercialisation.

4. Objectifs généraux du projet

Des études montrent qu'une voie de valorisation potentiellement intéressante des cendres de bois¹ est leur utilisation dans des matériaux de construction. Récemment, le projet ADEME Graine, intitulé « Valorisation des cendres de chaudière Biomasse dans l'élaboration de Matériaux composites pour le Génie Civil » (BIMGC) a montré la faisabilité d'utiliser les cendres sous-filtres (issues de chaudières à grille) en substitution du ciment². Les objectifs du projet BIOGRAFIC sont, quant à eux, d'étudier la valorisation des cendres volantes et sous-foyer de chaudières biomasse à lit fluidisé, en développant des composites cimentaires pour la fabrication de blocs de construction avec des propriétés thermo-physiques conformes aux normes en vigueur (NF EN 771-3/CN). Les différentes phases du projet sont les suivantes :

- Identifier, caractériser et effectuer le criblage des cendres sélectionnées fournies par la Société Dalkia.
- Actualiser les flux de gisement sur les deux territoires de l'étude, les Hauts-de-France et la Bretagne, avec un focus sur les cendres issues des chaudières à lit fluidisé.
- Étudier la forte demande en eau de ces cendres qui a un impact sur la rhéologie et la résistance mécanique des produits élaborés.
- Étudier l'influence de la substitution de sable par des cendres sous-foyers broyées et l'ajout de cendres fines sous forme de fillers sur les propriétés de mise en œuvre et physico-mécaniques des mortiers.
- Déterminer les taux d'incorporation possibles de cendres de biomasse.
- Transposer l'étude aux bétons secs à démoulage immédiat.
- Démontrer la faisabilité de la fabrication du produit sur une chaîne de fabrication industrielle.
- Effectuer une analyse de cycle de vie (ACV) des blocs de construction.

¹ Berra, Mario, Teresa Mangialardi, and Antonio Evangelista Paolini. "Environmental quality of hardened wood fly ash–cement mixtures." *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Waste and Resource Management*. Vol. 169. No. 1. Thomas Telford Ltd, 2016.

Carević, Ivana, et al. "Preliminary screening of wood biomass ashes for partial resources replacements in cementitious materials." *Journal of Cleaner Production* 229 (2019): 1045-1064.

Chowdhury, Swaptik, Mihir Mishra, and O. M. Suganya. "The incorporation of wood waste ash as a partial cement replacement material for making structural grade concrete: An overview." *Ain Shams Engineering Journal* 6.2 (2015): 429-437.

da Costa, Tamiris Pacheco, et al. "Environmental assessment of valorisation alternatives for woody biomass ash in construction materials." *Resources, Conservation and Recycling* 148 (2019): 67-79.

Teixeira, E. R., A. Camões, and F. G. Branco. "Valorisation of wood fly ash on concrete." *Resources, Conservation and Recycling* 145 (2019): 292-310.

² BIMGC, valorisation des cendres de biomasse dans l'élaboration de matériaux composites pour le génie civil, ADEME, rapport intermédiaire, janvier 2020.

J. Page, L. Libessart, C. Djelal, Use of biomass fly ash in cementitious materials, *Advanced Materials for Sustainable Infrastructure Development*, Gordon Research Conference, February 23-28, 2020, ventura, USA

Page, Jonathan, et al. "Feasibility of Using Biomass Fly Ash in Cementitious Materials." *Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings* 34.1 (2019): 12.

- Étudier l'influence de la substitution de sable par des cendres sur les performances sanitaires et environnementales des blocs de maçonnerie.
- Établir un dossier technique préalable à une demande de certification des blocs de construction par le CERIB en vue d'une commercialisation par Carrières Biallais.

5. Contexte et positionnement du projet

5.1. Contexte et enjeux

L'Union européenne se fixe un objectif d'au moins 27 % de sa consommation finale d'énergie par les énergies renouvelables en 2030. Cette ambition se traduit par une cible de 32 % pour la France déclinée par filière : chaleur (géothermie, biomasse, solaire, pompes à chaleur, part renouvelable des déchets) à 33 %, électricité à 27 % et transports à 10,5 %. L'alimentation des réseaux de chaleur par les **chaudières biomasse** est une solution maîtrisée et bien en place pour la production de chaleur (et d'électricité dans le cas de cogénération) dans l'Union Européenne. Les chaufferies bois représentent aujourd'hui un parc d'environ 5 000 installations en France qui produisent de la chaleur (chauffage et eau chaude sanitaire) à partir de la combustion de coproduits de bois (plaquettes forestières, produits connexes de scierie, broyat de palettes non traitées, etc.). Les chaufferies biomasse génèrent ainsi une quantité importante de cendres qu'il convient de valoriser ou d'éliminer selon les filières adaptées (plus de 200 000 tonnes par an en France). La valorisation agricole de ces cendres est la filière majoritaire et la plus développée. En effet, plus de 60 % des cendres produites font l'objet d'une valorisation agronomique (épandage ou co-compostage).

Les alternatives à ces exutoires existent mais sont moins bien établies, spécifiques à certains types de cendres ou encore au stade de la recherche et développement. De plus, on constate aujourd'hui que les règlements existants sont peu adaptés aux cendres de biomasse (les cendres de biomasse ne sont pas citées dans la plupart des normes relatives à la construction), dissuasifs, conjugués à des coûts de prétraitement parfois rédhibitoires.

La production de cendres en forte croissance ces dernières années avec le développement de la biomasse énergie a incité les producteurs à identifier des voies de valorisation adaptées et économiquement viables. En effet, bien que la majorité des tonnages de cendres produites soit valorisée en filière agricole, des quantités importantes sont parfois générées sur certaines installations de grande taille. Il apparaît donc nécessaire d'avoir un exutoire complémentaire à l'épandage des cendres pour sécuriser leur gestion. De plus certains types de cendres (issues de chaudières à lit fluidisé par exemple) peuvent être compatibles avec des filières de valorisation matière. Des études montrent qu'une voie de valorisation intéressante des cendres issues des chaufferies bois concerne **l'utilisation de ces cendres dans des matériaux de construction** : pour l'étanchéité de mines, ou comme filler et charge dans les bitumes ou les bétons.

Les analyses de cycle de vie (ACV) des produits en béton montrent que la majeure partie de leur impact environnemental est due à leurs matériaux constitutifs et principalement le liant souvent à base de ciment Portland. En effet, la production de ce ciment est consommatrice d'énergie et émettrice de gaz à effet de serre. En parallèle, l'intérêt de la filière béton pour les additions minérales comme les cendres volantes issues de centrale thermique est croissante ces dernières années. C'est ainsi que plusieurs projets financés par l'ADEME ont émergé ces dernières années que ce soit pour valoriser des cendres issues de l'industrie du papier, boue d'épuration ou de centrale biomasse bois.

5.2. Etat de l'art scientifique et caractère innovant du projet

Afin d'être incorporées dans une matrice cimentaire, les cendres doivent avoir des propriétés spécifiques tel qu'un comportement pouzzolanique. Dans ce cas, les cendres peuvent être utilisées en substitution du ciment dans les mortiers ou bétons mais avec une difficulté principale : le gonflement du béton en raison de la teneur en chaux libre dans les cendres.

Le rapport de l'ADEME « Etude de la valorisation des cendres de chaufferies bois » paru en 2001³ indique que sous réserve d'un prétraitement, et d'un gisement conséquent (chaufferie de forte puissance ou cendres biomasse en mélange avec des cendres d'autres origines), ces cendres pourraient être valorisées dans le domaine de la fabrication de parpaings, briques, etc. De même, des

³ S. Bouvot-Mauduits, Etude de la valorisation des cendres de chaufferies bois, ADEME, novembre 2001.

études menées au Canada en 2012⁴ montrent que certaines cendres de biomasse obtenues par la combustion de panic érigé (graminée) pourraient avoir des compositions similaires à celles issues de centrales à charbon. Depuis 2013, de nombreux projets sur les cendres de biomasse émergent en Europe (Espagne, Italie, Grèce) et en Amérique du Nord. Les études portent en particulier sur la faisabilité d'intégrer des cendres dans les matériaux cimentaires (mortiers et bétons), ou sur l'effet pouzzolanique ou encore sur l'écotoxicité⁵.

En 2013, des chercheurs de l'université de Grenade ont fabriqué un béton auto compactant à partir de cendres provenant de la combustion en chaudière de pellets fabriqués avec des restes d'émondage d'olivier comme substitut du filler⁶. Ce béton présente une résistance mécanique légèrement supérieure à celle d'un béton traditionnel.

En France en 2016, le CERIB a réalisé une étude sur une valorisation croisée de coproduits industriels (papeterie et fonderie), dont une cendre de biomasse⁷. Les résultats ont montré l'intérêt de ces cendres pour l'amélioration de la rhéologie des mortiers ainsi qu'en tant que liant, pour une substitution du ciment à des taux inférieurs à 10 %.

Selon certaines études, le profil des cendres est intéressant pour le secteur de la céramique traditionnelle avec un intérêt plus marqué pour les réfractaires et le sanitaire. C'est ainsi que la Société Française de Céramique a initié dès 2012 des travaux préliminaires avec le soutien de l'ADEME afin de vérifier la pertinence de l'utilisation par voie liquide des cendres volantes et sous-foyer issues de biomasse en tant que matière première pour l'industrie céramique. Les résultats obtenus ont permis de montrer que leurs propriétés physico-chimiques permettent d'augmenter la résistance mécanique des produits et de favoriser la densification des céramiques durant le frittage, abaissant ainsi les températures de cuisson. Plusieurs voies possibles de développement ont ainsi été mises en évidence et ont été explorées dans le cadre du projet WACER⁸. L'une des principales difficultés est de stabiliser des lots de cendres en sortie de chaufferie. En réalisant un mélange de plusieurs sites de chaufferie, les différences observables en termes de nature chimique sont lissées et permettent ainsi l'obtention d'une cendre plus stable et donc plus facile à substituer. Toutefois, le projet a montré les limites de l'utilisation des cendres sans traitement préalable. Il est indispensable de rendre ces cendres les plus inertes possibles en choisissant un processus de traitement adapté.

Le projet CERACENDRE (2011-2014)⁹ soutenu par l'ADEME visait à étudier l'opportunité d'incorporer des cendres sous-foyer pour la fabrication de céramiques par voie sèche. Sous réserve de traitements préalables (broyage, déferrailage, criblage), les cendres ont pu être substituées à la matière première pour les terres cuites. Les premiers travaux ont mis en avant que l'incorporation de ces cendres dans de tels matériaux avait pour effet d'accroître leur résistance mécanique tout en abaissant les températures de cuisson auxquels sont soumis ces produits. Un des intérêts écologiques majeur est le piégeage des éléments indésirables tels que les métaux via les processus de vitrification qui ont lieu dans les hauts fourneaux. La valorisation de ces cendres dans les procédés par voie liquide pourrait alors être permise via (i) leur « mouillage » préalable avant incorporation dans la matrice céramique dans le but d'éteindre la chaux, et (ii) l'application de hautes températures sur ces cendres afin de former des composés d'intérêt inertes et réfractaires (tels que CaSiO_3 et $\text{CaAl}_x\text{Si}_y\text{O}_z$).

⁴ S. Godbout, J. Palacios, P. Brassard, Avenues pour la valorisation des cendres de combustion de la biomasse agricole, Canada, 2012.

⁵ Gonzalez-Kunz, Rocio N., et al. "Plant biomass ashes in cement-based building materials. Feasibility as eco-efficient structural mortars and grouts." *Sustainable Cities and Society* 31 (2017): 151-172.

Demis, S., J. G. Tapali, and V. G. Papadakis. "An investigation of the effectiveness of the utilization of biomass ashes as pozzolanic materials." *Construction and Building Materials* 68 (2014): 291-300.

Barbosa, Rui, et al. "Concretes containing biomass ashes: Mechanical, chemical, and ecotoxic performances." *Construction and Building Materials* 48 (2013): 457-463.

Chaunsali, Piyush, et al. "Mineralogical and microstructural characterization of biomass ash binder." *Cement and Concrete Composites* 89 (2018): 41-51.

J. M. Lessard, A. Omran, A. Tagnit-Hamou, R. Gagne, Plant biomass ashes in cement-based building materials, Feasibility as eco-efficient structural mortars and grouts, *Construction and Building Materials*, 132, 2017.

Salvo, M., et al. "Biomass ash as supplementary cementitious material (SCM)." *Advances in Applied Ceramics* 114.sup1 (2015): S3-S10.

⁶ Cuenca, J., et al. "Effects of olive residue biomass fly ash as filler in self-compacting concrete." *Construction and Building Materials* 40 (2013): 702-709.

⁷ M. Petitpain, Economie circulaire : Projet valorisation croisée de co-produits industriels, Etude et recherche, CERIB, 2016.

⁸ WACER, Valorisation des cendres de bois dans les céramiques élaborées par voie liquide, rapport de synthèse, ADEME, juillet 2018.

⁹ D. Boulday, F. Marcovecchio, Valorisation des cendres issues de la combustion de biomasse, Revue des gisements et des procédés associés, étude Record n°14-0913/1A, rapport final, février 2016.

De par leurs propriétés physico-chimiques similaires, les cendres volantes de papeterie issues de la co-incinération de biomasse et de boues sont également susceptibles d'être incorporées dans le liant ou en tant que filler. Ainsi, le projet VALOCENDRE, d'une durée de 30 mois¹⁰, a été réalisé dans le cadre d'un projet de l'ADEME et la CRE. Ce projet a mis en collaboration une industrie papetière (Noske Skog Golbey, près d'Epinal (88)) et un industriel du béton (Heinrich & Bock, localisé à Steinbourg (67)) dans le cadre d'une bio-économie circulaire. En France, bien que deux papeteries seulement exploitent la biomasse conjointement avec les boues issues du lavage du papier recyclé (co-combustion) pour leur chaufferie, la production de cendres volantes issues de ces installations n'en reste pas moins conséquente (55 000 tonnes). Les quantités non négligeables en chaux contenues dans ces cendres nécessitent un prétraitement, au risque de générer au sein des matériaux bétons des effets délétères sur leurs propriétés rhéologiques à court et à long terme (gonflements, fissures). La première étape du projet visait donc à trouver les conditions de traitement nécessaires pour l'inertisation de la chaux vive présente dans ces cendres. Les essais de production en usine sur des produits béton de type pavés ont montré, sur le court terme, des résultats prometteurs en termes de résistance mécanique par fendage et de stabilité dimensionnelle pour une incorporation des cendres brutes (sans traitement) jusqu'à hauteur de 16 % en remplacement du ciment. Pour des teneurs en cendres supérieures, un prémouillage des cendres avant incorporation s'est révélé être le procédé le plus performant afin de garantir la stabilité dimensionnelle des pavés bétons, mais avec des performances mécaniques moindres en comparaison des pavés bétons fabriqués de manière conventionnelle. Des pavés industriels répondant aux spécifications en termes de résistance mécanique par fendage ont été fabriqués avec 25 % de cendres de papeteries brutes, permettant une substitution partielle du ciment.

L'incorporation de cendres de boues d'épuration ou de cendres volantes de charbon non conventionnelles issues de centrale thermique Spreader Stoker en remplacement du ciment ou du sable dans les matériaux cimentaires a également fait l'objet de quelques études. En 2012, Chen a montré dans le cadre de sa thèse¹¹ que (i) la caractérisation physicochimique des cendres a révélé un comportement proche des matériaux pouzzolaniques, (ii) la résistance du mortier diminue quand le taux de substitution augmente à cause de la faible teneur en CaO dans les cendres et de l'apport supplémentaire d'eau nécessaire, (iii) pour le béton témoin avec un taux de substitution de 10 %, la résistance est comparable à celle du béton témoin, et que (iv) l'essai de durabilité révèle une forte diminution des résistances mécaniques sous l'effet de la sollicitation au gel/dégel. En 2016, Sow a mené une thèse¹² sur la valorisation des cendres volantes de charbon d'une centrale thermique de type Spreader Stocker (CVSS) de faible puissance. Ceci entraîne une combustion partielle du charbon et conduit à de forts taux de carbone d'imbrûlés (28 %) dans les cendres volantes. Ces cendres ne peuvent pas être utilisées comme additifs pour les ciments composés mais comme additions minérales dans les bétons, un taux d'imbrûlé au-delà de 9 % étant proscrit par la norme NF EN 450-1. Des ciments composés ont ainsi été fabriqués selon différentes méthodes de broyage. Le rôle des imbrûlés contenus dans les CVSS a été investigué en comparant des ciments contenant des cendres brutes à des cendres dont les imbrûlés avaient été éliminés par calcination.

Des essais ont été réalisés sur des mortiers normalisés, contenant des CVSS en tant qu'additions (remplacement de 25 % de ciment). Malgré une diminution de la maniabilité et un léger retard de prise, les propriétés mécaniques de ces mortiers se sont révélées intéressantes avec un indice d'activité à 28 jours supérieur à la valeur minimale de 75 % spécifiée par la norme NF EN 450-1. En comparaison avec la pouzzolane, les CVSS améliorent les performances mécaniques des ciments mais dégradent leur maniabilité et le temps de prise, du fait de la présence d'imbrûlés, jouant sur la demande en eau. Cependant cet effet reste négligeable pour un taux de remplacement n'excédant pas 30 % de CVSS dans le liant.

La production d'énergie électrique utilise aussi la technologie du lit fluidisé circulant (LFC) qui présente l'avantage d'être équipée d'un système intégré de désulfuration des fumées. Ces chaudières LFC sont conçues de telle sorte que le soufre contenu dans les fumées soit récupéré sous forme de déchets industriels solides. Les déchets produits sont composés principalement de sulfate de calcium et de chaux. Ayrinhac a proposé une valorisation de ces cendres de biomasse en mettant au point un

¹⁰ VALOCENDRES, Valorisation des cendres volantes papetières dans le béton après prétraitements, rapport de synthèse, ADEME, mars 2018.

¹¹ M. Chen, Faisabilité technique et environnementale de l'utilisation dans des matériaux de construction cimentaires de cendres d'incinération de boues de station d'épuration, thèse de doctorat, INSA Lyon, 2012.

¹² M. Sow, Réalisation d'éco-ciments par la valorisation de cendres volantes de charbon non conventionnelles issues de centrales thermiques spreader stoker, thèse de doctorat, INSA Toulouse, 2016.

ciment composé¹³. Après avoir étudié les caractéristiques physico-chimiques de ces cendres, il a montré que les caractéristiques mécaniques de ceux-ci étaient intéressantes pour une utilisation pour des travaux routiers ou des comblements de cavité tant que le rapport SO_3/Al_2O_3 est inférieur à 1.

Dans la filière des techniques routières, le programme autrichien BIOS BIOENERGIESYSTEME (2009-2013) présente entre autres l'intérêt d'utiliser des cendres pour la construction de routes forestières. Le remplacement partiel de la chaux vive par des cendres a pour effet principal de stabiliser les argiles et les limons. Les deux types de cendres (sous-foyer et volantes) peuvent être utilisés pour la construction de telles structures.

Récemment, le projet ADEME Graine (2018-2020), intitulé « Valorisation des cendres de chaudière Biomasse dans l'élaboration de Matériaux composites pour le Génie Civil » (BIMGC) a montré la faisabilité d'utiliser les cendres sous-filtres en substitution du ciment ou en addition pour la fabrication de blocs de béton creux B60 (50x20x20cm) à démoulage immédiat, destinés à la construction avec des propriétés thermo-physiques conformes aux normes en vigueur (NF EN 771-3/CN). La centrale biomasse Dalkia de Calais produit 10 % de cendres volantes (CVB) et 90 % de cendres sous-foyer. Il a été décidé d'axer cette étude sur les cendres volantes en raison de leur éventuelle activité telle que spécifiée par la norme NF EN 450-1. La demande en eau de ces cendres est importante (52 %) du fait leur surface spécifique élevée (6290 cm²/g). Les cendres ne présentent pas d'effet pouzzolanique, ni d'hydraulicité latente mais possèdent une forte teneur en CaO. Au vu de ces résultats, il a été décidé de limiter le taux de substitution du ciment à 25 % pour l'étude préliminaire réalisée sur mortier. En effet, au-delà de 30 %, les formulations de mortiers connaissent une baisse d'ouvrabilité et une perte considérable de résistance mécanique. Pour des taux inférieurs à 25 %, l'absorption des CVB n'influence pas trop l'ouvrabilité mais reste préjudiciable pour les résistances mécaniques. En comparant l'effet en substitution massive du ciment et des CVB, l'étude a permis de conclure que ces deux matériaux avaient un comportement différent. Il a ainsi été convenu de réaliser l'étude béton à des taux de substitution de 10 % et de 20 % de CVB directement en production industrielle à Carrières Biallais. Les comparaisons entre les blocs témoins et les blocs CVB montrent que la substitution du ciment par les cendres induit une perte de résistance en compression respectivement de 8 % pour une substitution de 10 % et de 17 % pour une substitution de 20 %. Cependant, pour ces deux taux, les blocs affichent une résistance caractéristique en compression supérieure à la garantie de 6 MPa à 7 jours selon la norme NF EN 771-3. Les études sur l'utilisation des CVB en addition sont en cours.

Bien que des résultats prometteurs aient été obtenus dans le cadre du Projet BIMGC, la substitution du ciment par des cendres ne représente pas un volume important de cendres valorisées. En effet, dans les chaudières du partenaire du projet (Dalkia), les cendres sous-filtres ne représentent que 10 % de la masse totale des cendres produites dans le cas de chaudières à grilles ; les 90 % restantes étant des cendres sous-foyer, la plupart du temps extraites des chaudières par voie humide (dans un lit d'eau) et donc peu ou pas adaptées à une valorisation matière et la plupart du temps valorisées en épandage agricole. Les granulats, composants de base des mortiers et bétons, constituent généralement 70 à 85 % en masse et 60 à 75 % en volume. Les objectifs de cette étude sont d'étudier la valorisation des cendres sous-foyer et des cendres volantes issues de chaudières à lit fluidisé, en développant des composites cimentaires pour la fabrication de blocs ou d'éléments en béton destinés à la construction avec des propriétés thermo-physiques conformes aux normes en vigueur (NF EN 771-3/CN).

Cette typologie de cendres présente les avantages suivants :

- Compte tenu de la technologie de combustion utilisée, ces installations sont de forte puissance (> 20 MW) et produisent ainsi des quantités élevées de cendres ; le gisement potentiel est donc important.
- Les chaudières à lit fluidisé produisent des cendres sèches (85 % de cendres volantes et 15 % de cendres sous-foyer) ; par ailleurs les cendres sous-foyer comportent du sable (matériau de fluidisation du lit), ce qui peut être potentiellement intéressant dans le cadre d'une valorisation matière.

¹³ F. Ayrinhac, Valorisation des cendres volantes de chaudière à lit fluidisé dans la filière du génie civil, thèse de doctorat, INSA Toulouse, 2005.

Cette étude pourrait être étendue aux cendres issues de chaudières Spreader Stocker (de forte puissance également), qui produisent environ 60 % de cendres volantes sèches et 40 % de cendres sous-foyer, extraites par voie humide généralement.

À notre connaissance, cette voie de valorisation n'a pas encore été explorée. Le projet BIOGRAFIC devrait permettre :

- de recenser l'ensemble des travaux sur la valorisation des cendres de biomasse ; bien que les études soient insuffisamment partagées en Europe, de nouvelles publications apparaissent régulièrement ;
- d'étendre et d'améliorer les connaissances sur la composition et les propriétés des cendres de biomasse, et en particulier celles issues de lits fluidisés ;
- d'appliquer les nouvelles connaissances sur la formulation de matériaux innovants et durables respectueux de l'environnement et économiquement viables ;
- d'utiliser les nouvelles connaissances acquises dans le cadre de cette étude pour la mise en place d'une réglementation adaptée aux cendres de biomasse (normes, recommandations, etc.) ;
- réaliser un bilan environnemental d'un réemploi des cendres de chaufferie biomasse en BTP.

5.3. Résultats et bénéfices (environnementaux, socio-économiques...)

Dalkia Nord-Ouest fournira des cendres de biomasse pour ce projet. Cette entreprise exploite des centrales biomasses sur les territoires des Hauts-de-France et de la Normandie. La centrale biomasse retenue dans le cadre de ce projet ADEME est l'installation de cogénération biomasse de Lens ; celle-ci est une chaudière à lit fluidisé de 22 MW, construite suite à l'appel d'offre CRE 3 et mise en service en 2013. Elle fournit les besoins thermiques du réseau de chaleur de Lens et de l'électricité sur le réseau d'EDF. Sa consommation annuelle en biomasse est de 60 000 tonnes de bois. La combustion de la biomasse sur ce site produit chaque année environ 1 400 tonnes de cendres sous-foyer et 600 tonnes de cendres volantes.

Une installation biomasse de ce type contribue à la création et à la pérennisation d'emplois locaux, non délocalisables. Par ailleurs, elle stimule également l'économie locale. Le bois énergie crée 2 à 4 fois plus d'emplois que le fioul ou le gaz pour la même quantité d'énergie consommée. Cette installation crée une dizaine d'emplois directs ou indirects pour la filière bois énergie.

Le développement du bois énergie et des chaufferies biomasse a entraîné une très forte production de cendres ces dernières années. Les exploitants de ces centrales souhaitent donc optimiser la gestion de leurs cendres et identifier de nouvelles voies de valorisation pour certaines typologies de cendres.

La filière béton utilise encore les cendres de centrales à charbon en activité. Mais le futur mix énergétique verra probablement cette ressource issue du charbon disparaître. À contrario la production d'énergie (chaleur, électricité) via les centrales biomasses génère des quantités importantes de cendres, avec une caractéristique nouvelle majeure : un maillage plus fin du territoire français que celui qu'occupaient les centrales à charbon. Or, l'industrie du béton est une industrie qui maille parfaitement le territoire français. Aujourd'hui, il y a environ 250 usines de préfabrication de blocs en béton vibro-compactés réparties sur le territoire français. La cendre déchet peut alors devenir une opportunité en diminuant la consommation de granulats naturels et en limitant la distance de transport entre la centrale biomasse et le lieu de valorisation, améliorant davantage le bilan environnemental.

Une usine de fabrication à proximité de la chaufferie de Lens pourrait par exemple, avec une substitution potentielle de 20 % du sable et des gravillons par ces cendres, permettre un réemploi d'environ 440 kg de cendres par mètre cube de béton. Le volume annuel de cendres de cette centrale permettrait donc de fabriquer 3 180 m³ de béton soit 400 000 blocs de béton (50x20x20 cm). Cette utilisation réduirait les émissions de gaz à effet de serre, contribuerait à diminuer la consommation de granulats naturels et limiterait le volume de déchets de cendres. Une analyse du cycle de vie (ACV) de la substitution de la matière première par les cendres ou l'ajout dans le bloc de béton est intégrée dans ce programme.

6. Programme scientifique et technique, organisation du projet

L'objectif de la présente étude est d'étudier la valorisation de cendres sous-foyer et de cendres volantes de chaudières à lit fluidisé en tant que substitution granulaire dans des éléments préfabriqués en béton. Le caractère innovant de ce projet réside dans l'utilisation des cendres sous la forme de sable ou filler, pour substituer les fractions granulaires du béton. Cette opération peut être qualifiée de surcyclage puisque les déchets de base, à savoir les cendres de biomasse, seront réutilisés pour fabriquer des matériaux à plus forte valeur ajoutée.

Afin de garantir la réussite de ce projet, le travail a été réparti en différents lots, portant chacun sur des actions à réaliser. Pour chaque lot, un responsable a été défini, avec les participants associés.

Lot 1	Coordination et gestion du projet	
Participants	UArtois – LGCgE, UniLaSalle, UMon, CERIB, Carrières Biallais, Dalkia	
Responsable	UArtois – LGCgE	
Programme des travaux	1.1. Gestion et coordination ; réunions semestrielles de consortium et réunions scientifiques par lot 1.2. Rapports intermédiaire et final	

Objectifs :

Mettre en place une démarche de gestion de projet permettant de conduire le développement dans les meilleures conditions.

Description :

L'objectif sera de veiller à la bonne réalisation du projet sur le plan scientifique, technologique, financier et des ressources humaines par la mise en place de réunions d'avancement, de comptes rendus intermédiaires et par la rédaction de rapports d'avancement. Des comités de pilotage (COPIL) pour chaque lot de travail auront pour objet de faire un point régulier sur les travaux réalisés par les partenaires impliqués.

Ces réunions se tiendront tous les 6 mois maximum en fonction des besoins du projet. Par ailleurs, des réunions scientifiques spécifiques à chaque lot seront tenues en interne ou par visioconférence si besoin. Il s'agira notamment de faire des points réguliers sur les travaux réalisés. Ces réunions se tiendront tous les deux mois à minima dans les locaux du responsable du lot.

Implication des partenaires :

Les coordinateurs assureront l'animation des comités de pilotage des lots dont ils sont responsables et la rédaction des comptes rendus.

Livrables :

L1.0 : Accord de consortium.– Responsable : UArtois – LGCgE

L1.1 à L1.5 : Comptes rendus des comités de pilotage. Ces comptes rendus retranscriront les résultats scientifiques et techniques présentés lors de la réunion, les décisions scientifiques pour les prochains mois, les décisions inhérentes à la gestion de projet et à la coordination du consortium.– Responsable : UArtois – LGCgE

L1.6 : Rapport final du projet.– Responsable : UArtois – LGCgE

L1.7 : Rapports financiers. – Responsable : UArtois – LGCgE

⇒ **COPIL de démarrage à l'Université d'Artois – LGCgE (M1)**

Lot 2	Caractérisation des cendres de biomasse	
Participants	UMons, Dalkia, UArtois – LGCgE	
Responsable	UMons	
Programme des travaux	2.1. Analyses chimiques et minéralogiques des cendres utilisées 2.2. Caractérisation physico-chimique des cendres sélectionnées	

Objectifs :

Déterminer la nature minéralogique et chimique des cendres ainsi que les caractéristiques physiques des particules.

Description :

La variabilité des caractéristiques chimiques et minéralogiques des cendres en fonction des sites d'approvisionnement, mais également en fonction du temps pour un même site, est un paramètre important à prendre en compte pour cette étude. L'évaluation de la possibilité d'intégration des cendres de biomasse dans les bétons nécessite une connaissance approfondie des éléments chimiques présents et de la manière dont ces éléments sont intégrés dans les différentes phases cristallines et / ou amorphes. Cette caractérisation chimique et minéralogique doit également être complétée par des analyses physiques des particules (taille, forme, surface, densité). Des informations fournies par ces analyses, une évaluation de la comptabilité des cendres avec les mécanismes réactionnels du ciment et avec les contraintes sanitaires sera réalisée.

Ce travail de caractérisation sera réalisé par le laboratoire de science des matériaux de l'université de Mons (Pr. Maurice Gonon) en s'appuyant sur les techniques suivantes :

- ICP-AES pour les analyses chimiques élémentaires globales ;
- XRD pour les analyses minéralogiques ;
- microscopie électronique à balayage (SEM) pour la caractérisation en taille et morphologie des particules et EDX pour les analyses élémentaires locales ;
- méthode BET pour les surfaces spécifiques des particules ;
- granulométrie (méthode à préciser) pour la taille des particules ;
- pycnométrie He pour la densité absolue ;
- dosage en chaux vive.

Implication des partenaires :

L'UMons coordonnera l'ensemble des travaux de recherche de cette tâche. Il assurera la préparation et la caractérisation des échantillons. L'UArtois – LGCgE apportera son expertise en matériaux cimentaires et analysera les résultats. Dalkia fournira les échantillons de cendres à analyser.	Maurice GONON (UMons) Chafika DJELAL (UArtois – LGCgE) Laurent LIBESSART (UArtois – LGCgE) Jonathan PAGE (UArtois – LGCgE) Karim TABET (Dalkia) Maxence POTTIER (Dalkia NO, Bois Energie France)
---	---

Livrables :

L2.1 : Rapport décrivant le matériel et les méthodes techniques mis en œuvre pour la caractérisation physico-chimique des cendres de biomasse.– Responsable : UMons.

L2.2 : Rapport reprenant l'analyse chimique et minéralogique des cendres de biomasse.– Responsable : UMons.

Risques identifiés et solutions de replis :

Caractère pulvérulent et basique des cendres → Mise en œuvre d'un protocole sanitaire d'utilisation

⇒ **COPIL intermédiaire à l'UMons (M6)**

Lot 3	Criblage et broyage des cendres	
Participants	UArtois – LGCgE, Dalkia, Carrières Biallais	
Responsable	UArtois – LGCgE	
Programme des travaux	3.1. Criblage et broyage des cendres 3.2. Caractérisation physique des cendres sélectionnées	

Objectifs :

Déterminer les caractéristiques physiques et la répartition granulométriques des différentes cendres. Réaliser les broyages nécessaires pour obtenir des granulométries similaires à celles des granulats utilisés pour les bétons secs.

Description :

Après réalisation des analyses physico-chimiques des cendres (Lot 2), une ou plusieurs cendres seront retenues en fonction de leur compatibilité avec les matériaux de construction dans le but d'éviter tout problème d'ordre sanitaire.

Afin de réaliser des mélanges cimentaires contenant des cendres de biomasse sous forme granulaire, il est toutefois nécessaire d'identifier d'autres propriétés physiques inhérentes à tout matériau granulaire pour la formulation des mortiers et bétons.

- analyse granulométrie par tamisage ;
- masse volumique, compacité granulaire et absorption ;
- surface spécifique Blaine ;
- résistance à la fragmentation et au polissage (dans le cas des gravillons) ;
- essais au bleu et équivalent de sable ;
- essais chimiques comme sur les sables recyclés de béton.

À noter que les caractéristiques de résistance à la fragmentation et au polissage seront sous-traitées à un laboratoire extérieur. Des broyages pourront être réalisés pour obtenir des distributions granulaires similaires à celles des granulats utilisés dans les micro-bétons de Biallais.

Implication des partenaires :

L'UArtois – LGCgE se chargera des caractérisations physiques liées aux matériaux granulaires pour bétons. Dalkia fournira les cendres. Carrières Biallais fournira les matériaux granulaires pour béton qui seront substitués partiellement par des cendres.	Chafika DJELAL (UArtois – LGCgE) Laurent LIBESSART (UArtois – LGCgE) Jonathan PAGE (UArtois – LGCgE) Karim TABET (Dalkia) Maxence POTTIER (Dalkia NO, Bois Energie France) Bruno BIALLAIS (Carrières Biallais)
--	---

Livrables :

L3.1 : Rapport décrivant le matériel et les méthodes techniques mis en œuvre pour la caractérisation physique et le broyage des cendres de biomasse – Responsable : UArtois – LGCgE.

L3.2 : Rapport synthétisant l'analyse des caractéristiques physiques des granulats de cendres de biomasse obtenus.– Responsable : UArtois – LGCgE.

Risques identifiés et solutions de replis :

Cendres encore humides après fourniture par Dalkia → Un pré-séchage des cendres sera alors réalisé avant toute opération de criblage et broyage

Absorption d'eau importante des cendres → Prise en compte de l'eau absorbée par un apport d'eau supplémentaire dans les formulations

Résistance à la fragmentation trop faible → Valorisation sous forme de filler pour mortiers et bétons

⇒ **COPIL intermédiaire chez Dalkia (M12)**

Lot 4	Formulation de mortiers équivalents à base de cendres	
Participants	UArtois – LGCgE, UMon	
Responsable	UArtois – LGCgE	
Programme des travaux	4.1. Formulations des mortiers selon différents taux de substitution 4.2. Caractérisation des mortiers à l'état frais et durci 4.3. Caractérisation microstructurale des mortiers	

Objectifs :

Déterminer l'influence de la substitution de sable par des cendres sous-foyer broyées et l'ajout de cendres fines sous forme de fillers sur les propriétés de mise en œuvre et physico-mécaniques de mortiers.

Description :

Après détermination des caractéristiques chimiques et minéralogiques (Lot 2) et physiques après broyage (Lot 3), une ou plusieurs cendres seront retenues suivant leur compatibilité avec les compositions des matériaux de construction et afin d'éviter les désordres sanitaires. Ce choix se justifie par le fait qu'une centrale biomasse ne brûle pas nécessairement le même matériau annuellement (bois, palettes, autres déchets végétaux). Les caractéristiques de la formulation de mortier ne seront ainsi pas influencées par l'hétérogénéité des cendres.

Les cendres retenues seront incorporées dans des formulations de mortiers selon différents taux de substitution. Les propriétés à l'état frais et à l'état durci de ces derniers seront déterminées. Cette étude préliminaire permettra d'optimiser le taux de substitution des cendres. L'étude expérimentale sera menée à l'UArtois – LGCgE à l'échelle du mortier normalisé sur différentes substitutions de cendres de 10 à 60 % [1,2]. Les caractérisations seront faites selon les normes en vigueur applicables aux mortiers : EN 196-1, EN 196-3, EN 196-9, EN 1015-3, EN 1015-11, EN 1015-18, etc.

Pour analyser les nouveaux arrangements granulaires et d'hydrates formés dans les mortiers, des formulations seront caractérisées au Laboratoire de Science des Matériaux de l'Université de Mons (Pr. Maurice Gonon). Les analyses de Diffractométrie aux Rayons X (DRX) et au Microscope Électronique à Balayage (MEB) montreront la formation des hydrates cimentaires (C-S-H, Portlandite, etc.) dans la microstructure des mortiers. Par ailleurs, cela permettra de vérifier si la substitution de sables par des cendres ou l'ajout de cendres en tant que filler n'engendre pas de gonflement ou de formation différée d'ettringite.

Les travaux réalisés dans ce lot sont réalisés sur le matériau mortier normalisé qui n'est pas le matériau final souhaité (béton sec à démoulage rapide). Ce choix permet d'étudier la substitution de granulats par des cendres dans un matériau modèle (le mortier normalisé) qui est réalisable par tous les laboratoires européens puisqu'il s'agit d'une formulation commune avec des matériaux standardisés (ex : sable normalisé). Ainsi, les résultats, analyses et interprétation faites dans le cadre de ce lot 3 sont exportables à toute étude traitant de substitution granulaire par des cendres dans des matériaux cimentaires.

Différentes caractérisations seront réalisées afin de dégager les formulations les plus performantes :

Essais	Norme	Appareils	Paramètre
<u>État frais</u>			
Prise du mortier	NF P15-431	Appareil Vicat	Temps de prise
Ouvrabilité	EN 1015-3	Table à chocs	Étalement
	NF P18-452	Maniabilimètre	Temps d'écoulement
Air occlus	EN 413-2	Aéromètre à mortier	Teneur en air
Calorimétrie	EN 196-9	Calorimètre adiabatique	Chaleur d'hydratation
<u>État durci</u>			
Résistance à la compression	EN 1015-11	Presse hydraulique pour	Contrainte maximale à

Résistance à la flexion	EN 1015-11	essai de compression Presse électromécanique pour essai de flexion	la compression Contrainte maximale à la flexion
Variations dimensionnelles	NF P15-433	Rétractomètre	Retrait - gonflement
Absorption capillaire	EN 1015-18	Bassin et tamis d'absorption	Coefficient d'absorption d'eau par capillarité
Observations microscopiques à faibles grossissements	-	Microscope numérique	Arrangement granulaire
Microstructure			
Analyse thermo-gravimétrique	-	Appareil d'analyse thermique simultanée	Hydratation des mortiers après cure
Porosimétrie accessible à l'eau	NF P18-459	Porosimètre à eau	Porosité du béton
Observations microscopiques à fort grossissement	-	Microscope électronique à balayage (S/T UMONS)	Microstructure de la matrice cimentaire
Cristallographie aux rayons X	-	Diffractomètre à rayons X (S/T UMONS)	Microstructure de la matrice cimentaire

Implication des partenaires :

L'UArtois – LGCgE coordonnera l'ensemble des travaux de cette tâche. Il assurera la formulation et la caractérisation des mortiers. L'UMons réalisera les analyses micro-structurales (MEB et DRX notamment).	Post-doctorant (UArtois – LGCgE) Chafika DJELAL (UArtois – LGCgE) Laurent LIBESSART (UArtois – LGCgE) Jonathan PAGE (UArtois – LGCgE) Maurice GONON (UMons)
--	---

Livrables :

L4.1 : Rapport décrivant le matériel et les méthodes techniques mis en œuvre pour la caractérisation des mortiers. – Responsable : UArtois – LGCgE.

L4.2 : Rapport décrivant l'analyse des caractéristiques multi-physiques (états frais et durci) des mortiers, leur caractérisation microstructurale ainsi que les taux possibles de substitution du sable par des cendres de bois, et sur l'impact de l'ajout de cendres fines sous forme de filler. – Responsable : UArtois – LGCgE.

Risques identifiés et solutions de replis :

Absorption d'eau importante des cendres → Prise en compte de l'eau absorbée des cendres dans la formulation

⇒ **COPIL intermédiaire au CERIB**

Lot 5	Optimisation des bétons à démoulage immédiat et évaluation de la durabilité	
Participants	UArtois – LGCgE, Carrières Biallais, CERIB	
Responsable	UArtois – LGCgE	
Programme des travaux	5.1. Formulations des bétons secs 5.2. Étude paramétrique du protocole de vibro-compactage 5.3. Caractérisation des bétons à l'état frais et à l'état durci 5.4. Essais de vieillissement et de durabilité sur les blocs	

Objectifs :

Mettre au point une formulation optimisée de béton sec à l'aide des résultats obtenus sur mortiers. Étudier la durabilité et le vieillissement de ces bétons.

Description :

Cette deuxième campagne expérimentale réalisée cette fois-ci à l'échelle du béton sera menée conjointement avec les trois partenaires participants. Le béton sera mis en forme par vibro-compaction, en répondant aux conditions de fabrication industrielle. Pour cela, une étude paramétrique de ce mode de mise en œuvre sera réalisée. Les résistances mécaniques (compression ou traction) et les propriétés physiques seront déterminées sur des blocs 10x20 cm. L'équipe se servira entre autres des travaux réalisés précédemment sur le projet BIMGC et un précédent projet régional sur l'emploi de sciure de bois dans les blocs de béton (thèse de J.G. Ndong Endone)¹⁴.

Après optimisation des formulations de bétons secs, leur durabilité sera évaluée. D'abord d'un point de vue du vieillissement. Des éprouvettes seront conservées à différentes échéances (1 mois, 6 mois, 1 an) afin d'évaluer l'évolution des résistances et des variations dimensionnelles dans le temps. Par ailleurs, plusieurs environnements seront étudiés : conservation en eau ou en extérieur (avec conditions climatiques réelles). Parallèlement à cela, des cycles d'humidification-séchage pourront être réalisés en laboratoire.

Implication des partenaires :

L'UArtois – LGCgE se chargera de l'optimisation de la formulation des bétons et des essais de durabilité.	Post-doctorant (UArtois – LGCgE)
Carrières Biallais fournira les formulations des bétons industriels et apportera son expertise sur les bétons secs à démoulage rapide.	Chafika DJELAL (UArtois – LGCgE)
Le CERIB apportera son expertise et conseils sur les essais de durabilité.	Laurent LIBESSART (UArtois – LGCgE)
	Jonathan PAGE (UArtois – LGCgE)
	Bruno BIALLAIS (Carrières Biallais)
	François JACQUEMOT (CERIB)

Livrables :

L5.1 : Rapport décrivant la mise au point d'une formulation béton sec optimisé par vibro-compaction et caractérisation des blocs.– Responsable : UArtois – LGCgE.

Risques identifiés et solutions de replis :

Manque de cendre de même origine : nécessité de bien consigner l'origine du bois utilisé pour la production des cendres et prévoir dès le début de l'étude de collecter une quantité de cendres suffisante et un lieu de stockage.

⇒ **COPIL intermédiaire chez Carrières Biallais**

Lot 6	Préfabrication et mise en œuvre industrielle	
Participants	Carrières Biallais, CERIB, UArtois – LGCgE	
Responsable	Carrières Biallais	
Programme des travaux	6.1. Formulations des bétons secs 6.2. Fabrication de blocs dans la chaîne industrielle	

Objectifs :

Mettre en œuvre des matériaux élaborés (Lot 5) et qualifiés dans le cadre de ce projet, pour la réalisation de démonstrateurs industriels.

¹⁴ J.G. Ndong Engone, Développement de matériaux cimentaires à base de sous-produits bois : mise en forme par extrusion et vibrocompaction, thèse de doctorat, Université d'Artois, 2015.

Description :

Il s'agira pour cette étape de réaliser un transfert du mode de mise en œuvre des bétons secs de l'échelle laboratoire à l'échelle industrielle. Des essais de préfabrication de blocs seront réalisés à l'entreprise Carrières Biallais. Ces démonstrateurs industriels permettront d'éprouver la performance de ces nouveaux matériaux et la pertinence de leur utilisation pour des applications et marchés existants, tout en validant à l'échelle industrielle les résultats obtenus en laboratoire.

Le critère à respecter pour le nouveau produit est une résistance caractéristique à la compression, qui doit être supérieure à 4 MPa à 7 jours pour les blocs B40 et à 6 MPa pour les blocs B60. À noter que les dénominations B40 et B60 correspondent à des spécifications de dimensions, de résistance, etc. des blocs selon la norme NF EN 771-3/CN. Les autres caractéristiques devront également satisfaire la norme NF EN 771-3/CN, dont les tolérances dimensionnelles. Par ailleurs, les blocs fabriqués seront envoyés au CERIB pour des essais complémentaires nécessaires afin d'aboutir à un dossier technique préalable à une demande de certification du produit en vue d'une commercialisation.

Pour cela, plusieurs points seront étudiés :

- Comportement du matériau dans les équipements industriels ;
- Contrôle de production identique à celui pratiqué sur les matériaux traditionnels (analyse des défauts, tolérances dimensionnelles) ;
- Respect des performances mécaniques attendues.

Implication des partenaires :

Biallais Industrie coordonnera et réalisera l'ensemble des travaux de cette tâche. Il assurera la production des échantillons. Le LGCgE se chargera du transfert des formulations et apportera son expertise en matériaux de construction. Le CERIB réalisera des essais complémentaires nécessaires pour la constitution d'un dossier technique préalable à une demande de certification du produit.	Bruno BIALLAIS (Carrières Biallais) Post-doctorant (UArtois – LGCgE) Chafika DJELAL (UArtois – LGCgE) Laurent LIBESSART (UArtois – LGCgE) Jonathan PAGE (UArtois – LGCgE) François JACQUEMOT (CERIB)
---	---

Livrables :

L6.1 : Rapport de mise en œuvre du protocole industriel.– Responsable : Carrières Biallais.

Risques identifiés et solutions de replis :

Transfert de l'échelle laboratoire à l'échelle industrielle difficile → Adapter les formulations en conséquence avec des essais complémentaires

⇒ **COPIL intermédiaire à UniLaSalle**

Lot 7	Analyse environnementale comparative et évaluation sanitaire des bétons avec cendres de biomasse	
Participants	UniLaSalle, Carrières Biallais	
Responsable	UniLaSalle	
Programme des travaux	7.1. Actualiser l'étude des flux de gisements des cendres issues des chaufferies biomasse 7.2. Caractérisation sanitaire des cendres et du béton 7.3. Etude de l'Analyse Cycle de Vie (ACV)	

Objectifs :

L'objectif de cette phase est de vérifier la pertinence du projet par rapport aux enjeux environnementaux par évaluation des bénéfices environnementaux. Il s'agira dans un premier temps d'étudier l'impact sanitaire des cendres testées dans le cadre de ce projet (analyse de l'aluminium, baryum, cadmium, chrome, cuivre, mercure, nickel, plomb, et le zinc lixiviables) et d'un échantillon de

béton résultant des conditions optimales des essais en laboratoire et en industrie (composés organiques volatils totaux, formaldéhyde, acétaldéhyde, toluène, tétrachloroéthylène, xylènes, styrène, 2-butoxyéthanol, ethylbenzène, 1,4-dichlorobenzène, 1,2,4-triméthylbenzène) afin d'intégrer les résultats dans l'étude globale environnementale. Les analyses seront réalisées au moins en duplicata. Dans une seconde étape, les impacts environnementaux seront étudiés tels que le bilan d'émission des gaz à effet de serre (GES), la consommation de ressources fossiles ou renouvelables, la qualité de l'air, la production de déchets et d'eau usée, etc. Un bilan énergétique et matière sera mené. Cette phase de l'étude peut être considérée comme un moyen de comparaison entre différents scénarii et comme un outil d'aide à la décision. Une actualisation des flux de gisements des différentes catégories de cendres sera réalisée sur les deux territoires de l'étude, les Hauts-de-France et la Bretagne.

Description :

Ce lot assurera l'obtention de la caractérisation sanitaire des cendres et des bétons par l'analyse des Eléments Trace Métallique (ETM) sur le lixiviat des cendres retenues pour l'étude et l'émission des composés organiques volatiles d'un bloc béton élaboré dans le cadre de ce projet.

Pour réaliser l'analyse environnementale, conformément à la série des normes ISO 14040-14044 et aux données recueillies, une modélisation sous le logiciel *Simapro* et utilisant la base de données Ecoinvent sera effectuée. Dans ce cadre, une étude Analyse du Cycle de Vie (ACV) sera réalisée.

Implication des partenaires :

UniLaSalle coordonnera et réalisera l'ensemble des travaux de recherche de cette tâche.	Post-doctorant ou ingénieur d'études (UniLaSalle)
Carrières Biallais communiquera les données nécessaires à la réalisation de l'ACV.	Hayet DJELAL (UniLaSalle) Karine DUFOSSÉ (UniLaSalle) Bruno BIALLAIS (Carrières Biallais)

Livrables :

L7.1 : Rapport d'analyse environnementale, Caractérisation sanitaire des cendres issues des chaufferies biomasse et des bétons et actualisation des flux des gisements des cendres sur les deux territoires de l'étude, les Hauts-de-France et la Bretagne.– Responsable : UniLaSalle.

L7.2 : Publication d'un article scientifique international sur l'analyse environnemental du procédé de fabrication du bloc béton avec addition de cendres.

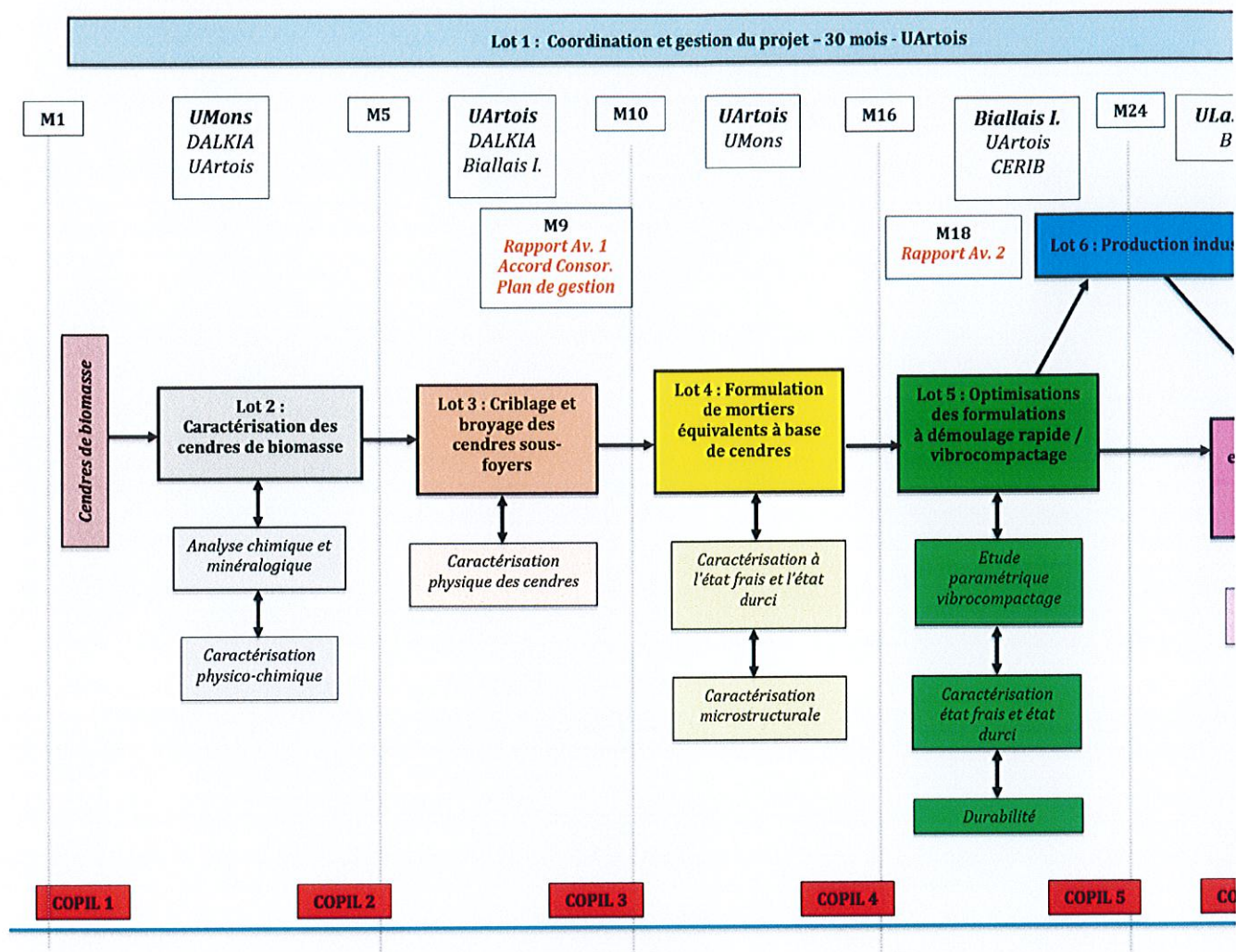
Risques identifiés et solutions de replis :

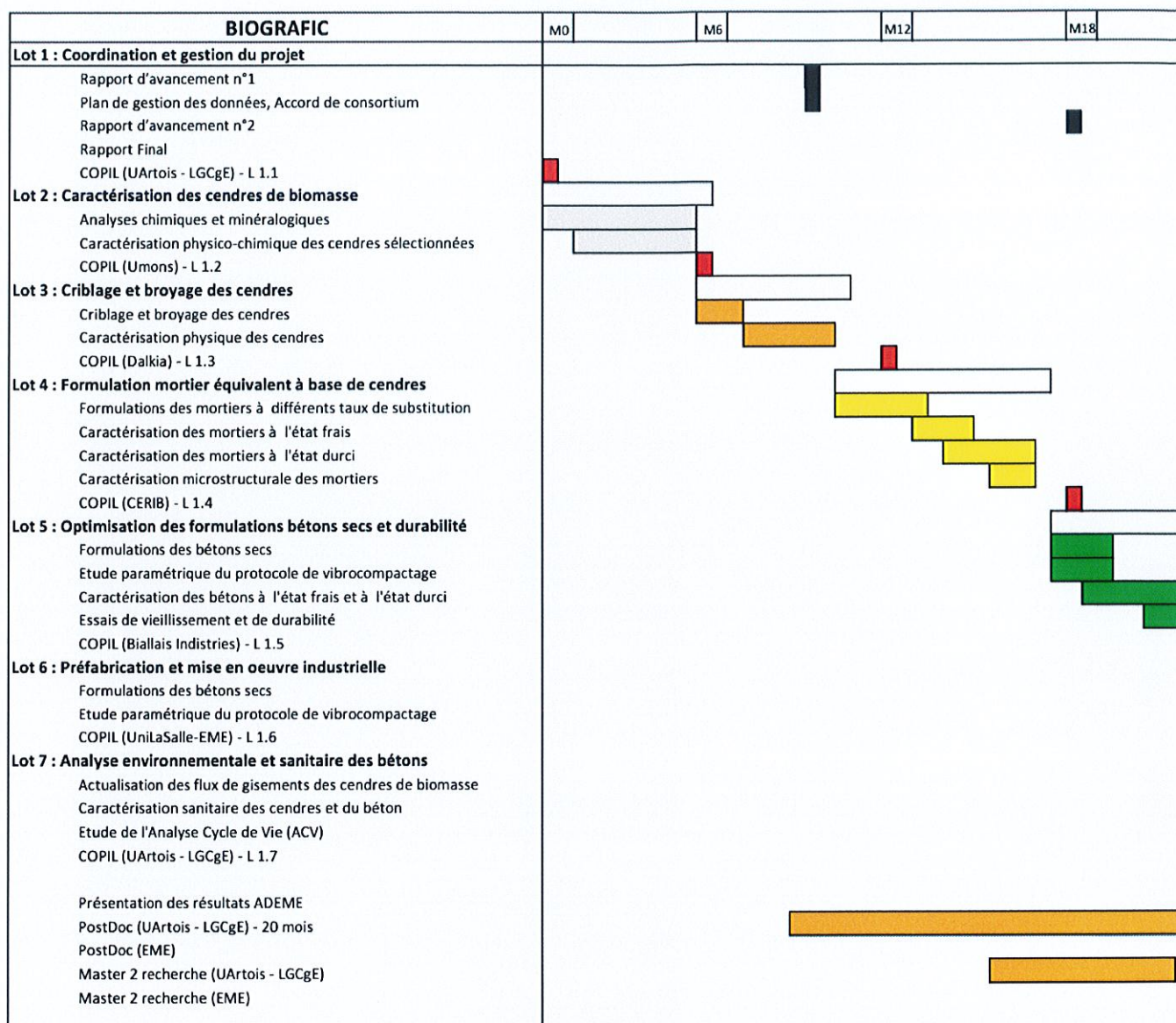
Ne pas obtenir de la part des partenaires les éléments nécessaires pour mener une étude d'analyse environnementale complète ou les obtenir avec des délais trop tardifs. Si cela était le cas, la solution de repli serait de s'appuyer sur la littérature scientifique et technique et les fiches FDES.

⇒ **COPIL final à l'UArtois – LGCgE**

7. Calendrier prévisionnel

M30 est considéré comme la fin du contrat (TF).





8. Stratégie de valorisation des résultats et mode de protection et d'exploitation des résultats

Les publications scientifiques issues du projet BIOGRAFIC seront mises à disposition dans une archive ouverte HAL. Une interface HAL existe à l'UArtois : <https://hal-univ-artois.archives-ouvertes.fr>. Le service commun de documentation (SCD) de l'UArtois pourra par ailleurs nous accompagner dans cette démarche. En effet, l'une des missions principales du SCD est l'accompagnement et le soutien à la recherche avec notamment la sensibilisation à l'open access et à la science ouverte et l'accompagnement pour la saisie dans l'archive ouverte de l'UArtois (HAL-Artois). Par ailleurs, des publications scientifiques pourront se faire dans des journaux en open access.

Dans la continuité du projet BIMGC, le présent projet a pour objectif de développer une compétence « cendres de biomasse » au sein du LGCgE en lien avec l'UMons et UniLaSalle. Le projet BIOGRAFIC permettra d'apporter des connaissances dans la compréhension des mécanismes lors de la mise au point du béton à base de cendres biomasses, en remplacement des granulats naturels.

Le projet BIOGRAFIC s'appuie sur les compétences disponibles au sein du Cd2E (Centre de Développement des Eco-entreprises), accélérateur de l'écoconstruction en région Hauts-de-France, de l'association B2E (Bretagne Eco-Entreprises) sur le territoire breton et sur le pôle de compétitivité Euramaterials, qui a labellisé le projet BIOGRAFIC.

Les perspectives de valorisation et de communication des résultats scientifiques sont multiples :

- Auprès d'organismes tels que la Fédération Française du Bâtiment, CIMbéton, etc. Nous participerons pour cela à des journées techniques organisées par l'AFGC (Association Française de Génie Civil) et l'AUGC (Association Universitaire de Génie Civil).
- Auprès des organismes de certification des matériaux (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment), des organismes traitant des déchets, des pôles de compétitivité (Euramaterials) ou d'accélérateurs (Cd2E, B2E, etc.).
- Sous forme de recommandations pour la préfiguration d'un système normatif.
- Par des publications scientifiques collectives qui seront proposées à des revues internationales significatives dans le domaine des matériaux de construction, de valorisation des biodéchets, de bioéconomie, d'économie circulaire, d'analyses environnementales.
- Par des publications techniques qui seront proposées à des journaux à grande diffusion (ex : Annales du BTP, Academic Journal of Civil Engineering).
- Par des communications lors de congrès internationaux et nationaux, dès que les résultats le permettront.
- Organisation d'une journée technique sur la valorisation des cendres en collaboration de B2E et AILE.

Le CERIB est également un vecteur de diffusion et de valorisation des résultats de ce projet via ses adhérents (entreprises et industries) de la filière des produits préfabriqués en béton. Par ailleurs, Dalkia, en tant que producteur de cendres via ses centrales biomasse, pourra aussi être une voie de valorisation et de diffusion des résultats de ce projet. En effet, Dalkia pourra par exemple valider une filière de valorisation de déchets et ainsi initier une modification des pratiques en interne.

Un accord de consortium sera mis en place entre les partenaires du projet BIOGRAFIC. Celui-ci définira les modalités pratiques de gestion des résultats et de partage de la propriété intellectuelle entre les partenaires du projet. Cet accord de partenariat régira également les dispositions relatives à la communication autour du projet.

Le développement de l'industrie de la valorisation des déchets est une priorité pour les régions Hauts-de-France et Bretagne. Il constitue un vecteur de croissance économique fort et s'inscrit parfaitement dans une démarche de développement durable. Il s'appuie notamment sur l'utilisation de ressources issues de déchets.

Les industries susceptibles d'être intéressées par ces travaux sont des usines de fabrication de blocs destinés à la construction. La valorisation des cendres issues de biomasse participera aux développements des énergies renouvelables. Les résultats visés sont donc un support aux entreprises qui s'engagent pour promouvoir des produits à faibles impacts environnementaux et sanitaires.

9. Description, adéquation et complémentarité des partenaires

Lors du projet BIMGC, les différents partenaires ont su travailler en étroite collaboration. Les compétences variées et complémentaires de chaque acteur ont permis de mener à bien ce projet. C'est pourquoi, il a été décidé de poursuivre cette collaboration en répondant à l'appel à projet Graine 2019.

D'un point de vue scientifique, trois laboratoires seront à nouveau impliqués :

- Le Laboratoire de Génie Civil et géo-Environnement (LGCgE - IUT Béthune) de l'UArtois pour ses compétences en formulation et caractérisation d'écomatériaux pour le génie civil.
- Le pôle Science des Matériaux de la Faculté Polytechnique de Mons (Belgique), spécialisé en analyses chimiques et minéralogiques des matériaux.
- Le laboratoire Cyclann de UniLaSalle apportera son savoir-faire en gestion des déchets et étude sanitaire et d'impacts environnementaux. Les enseignant-chercheurs de UniLaSalle ont développé des compétences pluri et trans-disciplinaires sur les thématiques de traitement des effluents, valorisation de la biomasse, énergie, gestion des déchets, éco-conception, études sanitaires et impacts environnementaux.

D'un point de vue industriel, l'entreprise Biallais mettra à disposition sa chaîne de fabrication et le CERIB ses compétences pour la normalisation des produits qui pourront être commercialisés. L'entreprise Dalkia, société de services énergétiques exploitante plusieurs centaines de chaufferies biomasse en France, fournira les cendres à valoriser dans le cadre de ce projet.

La coordination du projet sera assurée par le LGCgE (Université d'Artois). Le laboratoire a pu déjà être coordinateur dans différents projets (H2020, ANR, ADEME, Région). L'équipe s'appuiera sur les compétences de la Direction de la Recherche, des Etudes Doctorales et de la Valorisation (DREDV) de l'université d'Artois.

10. Engagements spécifiques propres aux moyens humains

Les qualifications des personnes désignées au chapitre 9 font partie des critères d'évaluation pour un soutien financier de l'ADEME à ce projet.

En cas d'absence, de défaillance ou de changement d'une ou plusieurs personnes nominativement désignées au chapitre 9, le coordinateur ou un partenaire devra en aviser immédiatement le responsable du suivi technique identifié par l'ADEME et prendre toutes les dispositions nécessaires pour que la bonne exécution du projet ne s'en trouve pas compromise.

A ce titre, le coordinateur ou le partenaire du projet devra être en mesure de proposer un remplaçant de qualification et d'expérience au moins équivalentes à la personne sortante au sein du consortium existant ou l'ajout d'un nouveau partenaire et d'en communiquer le nom et les compétences à l'ADEME dans un délai de 1 mois à compter de la date d'envoi de l'avis précité.

A défaut, l'ADEME est en mesure de retirer tout ou partie du bénéfice de l'aide conformément à l'article 4 des règles générales d'attribution des aides de l'ADEME.

11. Accord de consortium

Il est demandé aux partenaires du projet de remettre à l'ADEME un exemplaire de l'accord de partage entre les partenaires du projet des droits de propriété intellectuelle afférents à l'opération, compatible avec les dispositions du présent contrat ou à défaut une attestation signée des représentants habilités des partenaires du projet certifiant que l'accord ainsi défini de partage des droits a été signé entre les parties précitées et précisant sa date de signature, et attestant de sa compatibilité avec les dispositions des contrats des partenaires du projet, lors de la remise du rapport d'avancement n°1.

Cet accord de consortium devra également régir les dispositions relatives à la communication autour du projet (rôles et responsabilités de l'ensemble des partenaires).

12. Contribution au plan national science ouverte

Le coordinateur ou la coordinatrice et les partenaires s'engagent à (1) déposer les publications scientifiques (texte intégral) issues du projet de recherche dans une archive ouverte, soit directement dans HAL soit par l'intermédiaire d'une archive institutionnelle locale, dans les conditions de l'article 30

de la Loi « Pour une République numérique » (article L533-4 du Code de la recherche) ; (2) à fournir lors de la remise du 1^{er} rapport d'avancement, un plan de gestion des données (PGD) selon le modèle de l'ANR issu du modèle proposé par Science Europe disponible sur le portail Opidor ou le modèle du Bénéficiaire s'il en dispose, ainsi qu'une version du plan mise à jour à la fin du projet scientifique à remettre avec le rapport final.

Par ailleurs, l'ADEME recommande de privilégier la publication dans des revues ou ouvrages nativement en accès ouvert¹⁵.

13. Suivi de l'opération et productions

• Suivi de l'opération

Un **comité de suivi** de projet composé des partenaires du projet et de l'ADEME sera mis en place pour assurer le suivi du projet. Ce comité de suivi se réunira :

- Au lancement du projet (préférentiellement par visioconférence) pour présenter le projet et le calendrier prévisionnel.
- Tous les 6 mois. Le but sera de présenter l'avancement du projet et de résoudre d'éventuelles difficultés. Il laissera une large part à la discussion pour confirmer l'avancement selon les étapes prévues ou donner de nouvelles orientations au projet en fonction des résultats déjà obtenus. Suite à la réunion, le support de présentation et le compte-rendu sera envoyé par le coordinateur et transmis au consortium et à l'ADEME ;
- Pour une réunion finale : L'ensemble du comité de suivi sera présent afin de discuter des applications ou suites possibles appliquées de ce projet.

Des **points téléphoniques** tous les 12 mois avec l'ADEME, à l'initiative du coordinateur, seront réalisés pour présenter l'avancée des travaux et les éventuelles évolutions nécessitant un arbitrage de l'agence.

Le consortium se rendra aussi disponible pour participer aux événements liés à l'animation de l'appel et organisés à l'initiative de l'ADEME (ex : séminaires de lancement, à mi-parcours et final).

Le projet pourra faire l'objet d'une évaluation scientifique réalisée a posteriori par l'ADEME.

• Productions et documents de suivi de l'avancement du projet

Les partenaires s'engagent à transmettre à l'ADEME, via le coordinateur désigné, suivant les délais et étapes prévisionnels fixés dans le tableau les documents ci-dessous, et toutes les productions réalisées par le consortium. Ils seront communiqués à l'ADEME au fur et à mesure de leur réalisation. Cette dernière s'engage à les conserver exclusivement en interne jusqu'au terme de la réalisation du projet. A l'issue du projet, l'ADEME pourra utiliser les résultats obtenus dans les conditions définies à l'article 3-2-2 des règles générales d'attribution des aides de l'ADEME.

Documents de suivi de l'avancement du projet

Rapports d'avancement

Leur date de diffusion sera coordonnée avec celles des comités de suivi, afin que les documents soient en possession de l'ADEME avant le comité. Lors des comités, les partenaires présenteront une synthèse des résultats obtenus à cette échéance, une analyse de ces résultats (comparaison aux données existantes, critiques et remarques, description des problèmes rencontrés...) et des indications pour les travaux à suivre.

¹⁵ Le site DOAJ (<https://doaj.org/>) répertorie les revues scientifiques dont les articles sont évalués par les pairs et en libre accès. Le site DOAB (<https://www.doabooks.org/>) fait de même pour les monographies.

Les rapports d'avancement comprendront des indications sur la réalisation du projet : avancement tâches / calendrier prévisionnel, rapport sur difficultés / points d'attention pour l'ADEME et seront complétés par les éléments relatifs au comité de suivi :

- Principaux résultats (peut être sous forme de PPT)
- Indications pour les travaux à suivre (peut être sous forme de PPT)
- CR du comité de suivi

- Un 1^{er} rapport d'avancement sera remis à l'ADEME à TF-21mois,
- Un 2^e rapport d'avancement sera remis à l'ADEME à TF-12mois,

En fin de contrat (TF), les documents suivants seront remis à l'ADEME :

- **Un rapport final** constitué de :
 - **un résumé** en français et en anglais du contenu du rapport,
 - une partie 1 portant sur le **suivi du projet** : difficultés rencontrées, atteinte des objectifs, verrous et perspectives
 - une partie 2 **autoporteuse** présentant de façon détaillée les **résultats obtenus et les conclusions du projet**.
- **Une liste recensant les publications** liées au projet en précisant le DOI et le lieu de dépôt en archive ouverte si tel est le cas, et les principales valorisations réalisées ou à venir (actes de colloques, posters, articles scientifiques et techniques...). Une mise à jour de cette liste est attendue par l'ADEME dans un délai de 2 ans après la fin du projet.
- **Des documents dédiés à la diffusion des résultats du projet auprès d'un large public**, visant à être diffusés sur le site ademe.fr et devant respecter le modèle fourni par l'ingénieur en charge du suivi du projet :
 - Un résumé du projet en français qui constituera une mise à jour du résumé fourni en début de projet.
 - Une note de synthèse publique (de 6 à 10 pages) résumant les principaux résultats et conclusions obtenus dans le cadre du projet. Cette note sera mise en ligne sur le site internet de l'ADEME et devra respecter la charte de présentation ADEME fournie par l'ingénieur en charge du suivi du projet. Une **version en français et en anglais** seront fournies afin de pouvoir valoriser le projet dans le cadre des réseaux européens.
 - Des contenus multimédias :
 - des **photographies** représentatives du projet, accompagnées d'une légende et du crédit photo associé seront transmises avec le rapport final. Elles seront également transmises au format jpeg en version électronique (avec une résolution minimale de 300 dpi).
 - les éventuelles **vidéos** associées au projet (thèse, présentation du matériel et méthode, ...), elles seront également transmises en version électronique.

Plan de gestion des données

Le plan de gestion des données sera remis à deux étapes du projet :

- avec le 1^{er} rapport d'avancement remis à l'ADEME à TF – 21mois,
- avec le **rapport final** transmis à l'ADEME à TF.

- **Format des documents fournis à la demande de l'ADEME**

Conformément aux règles générales d'attribution des aides de l'ADEME – Art.2-1-2-2, **tous ces documents seront fournis en un exemplaire en version papier ou au format électronique à l'ADEME** ou déposés sur une plateforme informatique prévue à cet effet.

Afin d'homogénéiser son image à travers la présentation de ses documents et dans le cadre des préconisations faites par le ministère en charge de l'environnement, l'ADEME s'est dotée d'une charte de mise en page et de présentation qui s'applique aux documents et à leur synthèse qui ont vocation à être valorisées sur les sites web de l'ADEME.

Les documents, ayant vocation à être diffusés sur le site de l'ADEME et prévus ci-dessus, seront donc rédigés conformément à cette charte de mise en page et de présentation à appliquer aux recherches et études réalisées avec le soutien financier de l'ADEME.

- **Devoir d'information du bénéficiaire sur le financement de l'ADEME dans les communications relatives au projet**

Conformément à l'article 2 des règles générales d'attribution des aides de l'ADEME, le bénéficiaire s'engage à mentionner le financement apporté par l'ADEME pour tous ses actes et supports de communication sur le projet.

Toutes les valorisations indiqueront le partenariat avec l'ADEME en apposant le logo de l'agence sur les supports de communication et il sera mentionné dans toutes présentations orales et publications (partie « remerciements » ou « acknowledgments »), en indiquant par exemple « le projet BIOGRAFIC est réalisé avec le soutien financier de l'ADEME ».

Tableau récapitulatif des productions attendues du projet

Type de productions	Intitulé et nature des productions	Date de fourniture <i>nombre de mois avant TF (fin de contrat)</i>
Accord de consortium	Accord de consortium - à transmettre avec le 1 ^{er} rapport d'avancement	TF-21
Plan de gestion des données	Plan de gestion des données – début du projet – à transmettre avec le 1 ^{er} rapport d'avancement	TF-21
	Plan de gestion des données – fin du projet – à transmettre avec le rapport final	TF
Liste des publications	Liste recensant les publications liées au projet en précisant le DOI, et les principales valorisations réalisées ou à venir (actes de colloques, posters, articles scientifiques et techniques...).	TF
	Mise à jour de la liste recensant les publications liées au projet en précisant le DOI, et les principales valorisations réalisées ou à venir (actes de colloques, posters, articles scientifiques et techniques...).	TF + 24
Documents pour la diffusion des résultats	Un résumé du projet en français qui constituera une mise à jour du résumé fournit en début de projet	TF
	Une note de synthèse publique (de 6 à 10 pages) résumant les principaux résultats et conclusions obtenus dans le cadre du projet	
	Des contenus multimédias : photos et/ou vidéos représentatifs des résultats du projet	
Rapports d'avancement et rapport final Réunions intermédiaires et de restitution	Rapport d'avancement n°1, et réunion intermédiaire n°1	TF -21
	Rapport d'avancement n°2 et réunion intermédiaire n°2	TF-12
	Rapport final provisoire	TF-1,5
	Réunion de restitution et Rapport final définitif	TF