RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

Université d'ORLÉANS

Extrait n° 2022-18

DELIBERATION DU CONSEIL D'ADMINISTRATION

Séance du 25 février 2022

IX. Approbation de l'aide allouée à l'Université d'Orléans par l'ADEME pour le projet NICE H2 - CORAM porté par le laboratoire PRISME à hauteur de 2 047 737 €.

Vu la délégation de pouvoir du Conseil d'Administration au Président de l'Université relative à l'approbation des conventions hors marchés publics conclues pour le compte de l'université d'Orléans du 26 avril 2019.

I. Présentation du projet CORAM - NICE H2

Le projet Nice H2 (New Internal Combustion Engine Hydrogen), porté par la société BORGWARNER, dont l'université d'Orléans est partenaire au travers du laboratoire PRISME a été sélectionné dans le cadre de l'appel à manifestation d'intérêt du CORAM 2021 dans le cadre du Programme d'Investissement Avenir (PIA).

Le projet NICE H2 doit démontrer les avantages du moteur à combustion interne fonctionnant à l'hydrogène sur des applications spécifiques en utilisant des technologies existantes fiables et à coûts de production et de maintenance limités

Le moteur à combustion interne hydrogène est aujourd'hui une des solutions prometteuses pour relever les défis liés aux enjeux climatiques et environnementaux tout en répondant aux exigences d'autonomie, de coût et de durée de vie des véhicules.

La durée du projet est de 27 mois.

II. Descriptif et budget

Au titre du PIA, une participation de 4 867 095 euros est accordée au projet NICE H2. Une aide de 2 047 737 euros est accordée au laboratoire PRISME de l'Université d'Orléans dans le cadre du projet. Les équipes de l'ADEME, opérateurs de l'État pour cet appel à projet, sont en charge de la contractualisation du financement apporté par l'État à ce projet.

Montant des dépenses présentées :	*8 390 404 €*
Aide allouée à l'UO en tant que partenaire (Laboratoire PRISME) :	*2 047 737 €*
Total de l'aide allouée au projet NICE H2	*4 867 095 €*

Le projet scientifique est joint en annexe.

Le Conseil d'administration approuve l'aide allouée à l'Université d'Orléans par l'ADEME pour le projet NICE H2 - CORAM porté par le laboratoire PRISME à hauteur de 2 047 737 €.

Effectif Statutaire :	36
Membres en exercice :	35

Quorum :	
Membres présents :	15
Membres représentés :	8
Total :	23

Décompte des votes :

Abstentions :	-
Votants :	23
Blancs ou nuls :	-

Suffrages exprimés :	23
Pour :	23
Contre :	-

La délibération est adoptée à l'unanimité.

Fait à Orléans, le 28/02/2022
Le Président de l'Université

Éric BLOND

Dossier de candidature

CORAM 2021

NICE H2

Eléments clés du projet

Nom du projet : New Internal Combustion Engine Hydrogen

Durée du projet (en mois) : 27

Localisation du projet : Région Centre Val de Loire

Localisation de l'industrialisation : Région Centre Val de Loire

Date de début : 3eme trimestre 2021

Date de fin : 4eme trimestre 2023

Montant des dépenses présentées : 8 390 404 €

Complétude du dossier de candidature

Le dossier de candidature doit comporter l'ensemble des documents suivants pour être considéré comme complet :

Commun à tous les partenaires :

- Annexe 1 : Présentation du projet (présent document)
- Annexe 2 : Base de données (BDD) des coûts du projet
- Annexe 3 : Synthèse Eco-conditionnalité

Spécifique à chaque demandeur :

- Annexe 4 : Documents administratifs et financiers

Le dossier sera considéré comme complet seulement à la réception de l'ensemble des documents requis par l'opérateur concerné.

A. OBJECTIFS DU PROJET

A.1. Objectifs du projet

→ L'objectif de ce projet ICE H2 est de démontrer les avantages du moteur à combustion interne fonctionnant à l'hydrogène sur des applications spécifiques en utilisant des technologies existantes fiables et à coûts de production et de maintenance limités. Ce projet présente des avantages uniques et clés dans le cadre de l'atteinte de la décarbonisation car il est :

- *Basé sur une infrastructure de production, d'approvisionnement et de maintenance/réparation existante.*
- *Robuste pour de nombreux véhicules et environnements d'utilisations exigeants.*
- *Défini pour ne pas utiliser de manière importante les métaux rares, toxiques ou précieux.*
- *Conçu sur un circuit de recyclage extrêmement efficace et déjà existant.*

Un véhicule équipé d'un moteur à combustion interne à hydrogène est à même de répondre à la nouvelle norme zéro émission de la communauté Européenne qui demande une émission inférieure à 1 g de CO2 par kWh. Cette technologie s'appuie un maximum sur les filières existantes et elle permet de relever le challenge de la décarbonisation tout en limitant l'impact social. Il est en effet nécessaire de réussir la transformation vers le zéro émission tout en préparant une modification en profondeur de la filière des moteurs à combustion. Cette technologie s'appuie de surcroît le réseau de distribution qui commence à se développer pour les véhicules à pile à combustible à hydrogène.

Son coût annuel de fonctionnement sera similaire à un coût actuel de fonctionnement d'un véhicule à moteur à combustion interne, lié de manière directe au coût de production de l'hydrogène vert. Cette technologie permet la transformation rapide des motorisations à énergies fossiles actuelles à moindre coût pour atteindre les objectifs de neutralité carbone.

Le moteur à combustion interne hydrogène est aujourd'hui une des solutions prometteuses pour relever les ***défis liés aux enjeux climatiques et environnementaux tout en répondant aux exigences d'autonomie, de coût et de durée de vie des véhicules.***

Pourquoi la combustion d'hydrogène

- **La Combustion de H_2 est étudiée depuis longtemps mais des avancées récentes changent la situation:**
  - La problématique des émission de CO_2 est devenue un challenge sociétal avec des répercussions visibles sur notre quotidien
  - Des progrès importants dans la production de l'hydrogène vert grâce a l'utilisation d'électrolyseur H_2 à couts réduits et fortes efficacités
  - Une amélioration de la performance de la combustion hydrogène grâce à l'utilisation des dernières technologies d'injection directe et de suralimentation
  - Coût encore élevé, problème de durée de vie et recyclage difficile des piles à combustible de tailles importantes (maturité visée après 2030)
- **En lien avec les points ci-dessus, des essais récents ont montré une possibilité de proposer une solution efficace de réduction des émissions polluantes et de réutiliser le moteur à combustion interne**
- **Les technologies existent, mais doivent être regroupées pour en faire une solution rapide et efficace**
- **La communauté européenne avec l'Allemagne, la France et le Portugal en tête, investit de manière importante dans l'hydrogène vert.**

Le moteur à combustion interne à hydrogène (ICE H_2) est une solution efficace en vue de la décarbonisation de la mobilité

→ Le partenariat développé entre nos différentes sociétés a pour spécificité de réunir les compétences principales au sein de la région Centre Val de Loire. Ce projet est un formidable accélérateur pour ces entreprises aujourd'hui parties prenantes dans l'industrie du moteur à combustion interne et représente une activité pour 2720 emplois.

Le projet H2 « Hydrogène Internal combustion Engine – H2ICE» (ci-après l'ETUDE) s'inscrit pleinement dans les objectifs du pôle ADEME, visant à fédérer centres de recherche et entreprise afin de faciliter le développement de moteurs à combustion interne sûrs pour l'homme et son environnement. L'ETUDE permet de contribuer au développement et à la compétitivité des moteurs à combustion interne fonctionnants à l'hydrogène afin de réduire émissions polluantes (y compris CO2) et dépendance énergétique. L'ETUDE permet également de développer les compétences des laboratoires français en pointe dans le domaine de l'injection/combustion, en particulier en assurant la formation de jeunes chercheurs, mais également de fédérer l'ensemble de la filière hydraulique haute pression appliquée à l'injection et de sécuriser la position des constructeurs de motorisation français et d'équipementiers de taille internationale largement implanté en France, face à la concurrence. L'ETUDE renforcera également la visibilité internationale de la France, et en particulier des régions Centre Val de Loire dans le domaine des transports terrestres respectueux de l'environnement et des générateurs d'électricité autonome.

A.2. Solutions développées

→ L'objectif du projet est de réaliser deux démonstrateurs à même d'accélérer la mise en œuvre de la solution hydrogène brûlé:

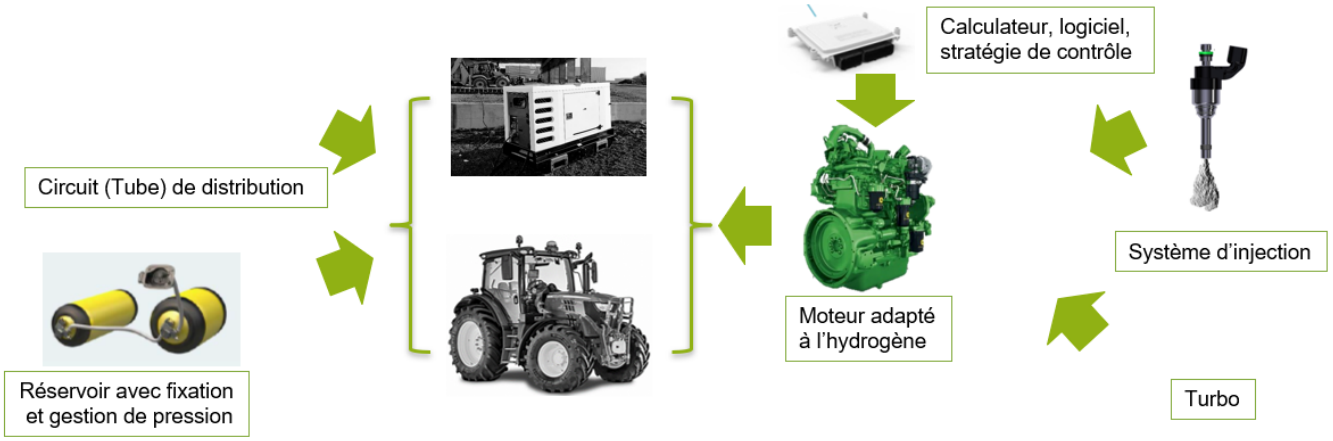
Un démonstrateur de production d'électricité par un générateur type Groupe Electrogène : Genset. Une utilisation visée sera l'alimentation des antennes de téléphonie 5G qui en raison de leur portée d'émission comparée à la 4G et à leur demande plus importante d'électricité sont un frein au développement en raison des émissions de CO2

Réaliser un démonstrateur roulant de tracteur sur la base de motorisation utilisée pour le Genset.

Ces démonstrateurs serviront de catalyseurs pour permettre de proposer une solution pérenne de décarbonisation de la mobilité

La naissance de cette solution permettra aux partenaires de se positionner en leader dans le domaine de la combustion hydrogène chacun dans son domaine de compétences et ainsi pérenniser son activité et les emplois associés.

Composition d'un véhicule à hydrogène



Les briques technologiques nécessaires à un véhicule fonctionnant à l'hydrogène brûlé sont existantes et pour certaines en série.

Attendus du projet

- **L'objectif du projet est de réaliser deux démonstrateurs à même d'accélérer la mise en œuvre de la solution hydrogène brûlé:**
  1. Un démonstrateur de production d'électricité par un générateur type Groupe Electrogène : Genset. Une utilisation visée sera l'alimentation des antennes de téléphonie 5G qui en raison de leur portée d'émission comparée à la 4G et à leur demande plus importante d'électricité sont un frein au développement en raison des émission de CO_2
  2. Réaliser un démonstrateur roulant de tracteur sur la base de motorisation utilisée pour le Genset.
- **Ces démonstrateurs serviront de catalyseurs pour permettre de proposer une solution pérenne de décarbonisation de la mobilité**
- **La naissance de cette solution permettra aux partenaires de se positionner en leader dans le domaine de la combustion hydrogène chacun dans son domaine de compétences et ainsi pérenniser son activité et les emplois associés.**

L'objectif du projet est la réalisation de deux démonstrateurs moteurs à hydrogène qui seront des accélérateurs de solution applicative

A.3. Verrous techniques :

De nombreux verrous techniques sont identifiés et devront être résolus pour :

- *La diffusion de ce gaz et sa combustion par le biais de simulation numérique et d'essais fondamentaux sur le banc moteur monocylindre (définition spray ; bougie ; injecteur).*

- *Le contrôle et la calibration du moteur (Rendement, combustion, puissance, …)*
- *La définition de l'architecture du moteur dans son ensemble*
- *Le stockage Hydrogène à moyenne et basse pression sur les 2 démonstrateurs*
- *Les connections et le transfert de l'hydrogène à moyenne et basse pression*
- *La définition des matériaux et des revêtements spécifiques*
- *La durabilité du système*
- *Le respect des émissions et leur traitement*

Chaque verrou technique sera levé dans un premier temps soit par une étude numérique ou soit par des essais préalables sur banc de test, puis validé sur banc moteur et ensuite sur véhicule.

A.4. Etat de l'art :

→ Détailler le positionnement de la solution développée par rapport à l'état de l'art (Etude qualitative et quantitative en démontrant le positionnement technique et marché).

Le 14 juillet 2021, la commission européenne a adopté un ensemble de propositions volontaires et ambitieuses afin d'adapter la politique de l'Union notamment dans le domaine du climat, de l'Energie de l'agriculture et du transport afin de réduire ses émissions nettes de gaz à effet de serre de 55% d'ici 2030 par rapport aux émissions de 1990 et d'atteindre la neutralité climatique d'ici 2050. Cette feuille de route nommée « FIT for 55 » (https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fr/ip_21_3541) envisage de réduire les émissions moyennes de gaz à effet de serres des véhicules particulières et des véhicules utilitaires légers de 55% à partir de 2030 et de 100% à partir de 2035 par rapport aux niveaux de 2021. Ainsi seuls les véhicules électriques ou utilisant l'hydrogène pourrons être commercialisés (https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fr/fs_21_3676). Pour assumer l'approvisionnement, le réseau de distribution sera renforcé notamment grâce à des bornes de recharge d'au moins 300kW tous les 60 km et de station de ravitaillement et Hydrogène tous les 150 km et dans chaque nœud urbain d'ici 2030 (https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fr/fs_21_3665).

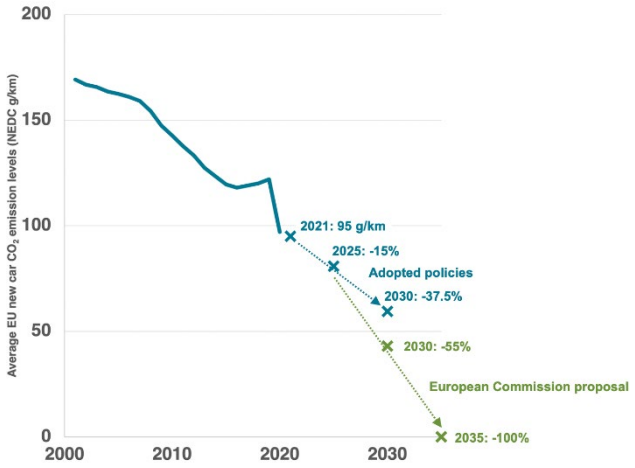


Figure 1- Average new passenger car CO2 type approval emission levels in the EU, historically and including adopted as well as proposed future target values. (ICCT 2021)

L'hydrogène vert est donc une des solutions retenues permettant de répondre à ces objectifs ambitieux et peut être converti en électricité grâce à une pile à combustible ou en énergie mécanique si l'hydrogène est utilisé dans un moteur à combustion interne. Ainsi dans un contexte de transport, d'industrie et de production d'énergie (groupe électrogène) la valorisation optimale de l'hydrogène doit être privilégié tout en maitrisant le coût d'investissement et de fonctionnement du convertisseur d'Energie (pile à combustible ou moteur à combustion interne). Si la pile à combustible possède un rendement intéressant de 60% à faible charge (et est d'environ 50% à pleine charge), l'électricité produite doit être stocké /déstocké rapidement dans des batteries (avec un rendement de 80% pour chaque étape) ou utilisé directement afin d'alimenter les moteurs électriques des véhicules, poids lourds ou machines agricoles. Le rendement global de transmission de la puissance étant la multiplication des rendements, soit à maxima 60% x 80% x 80% = 38.4%, ce rendement global ne devient pas si compétitif au regard de celui d'une chaine de traction incluant un moteur à combustion interne alimenté en hydrogène.

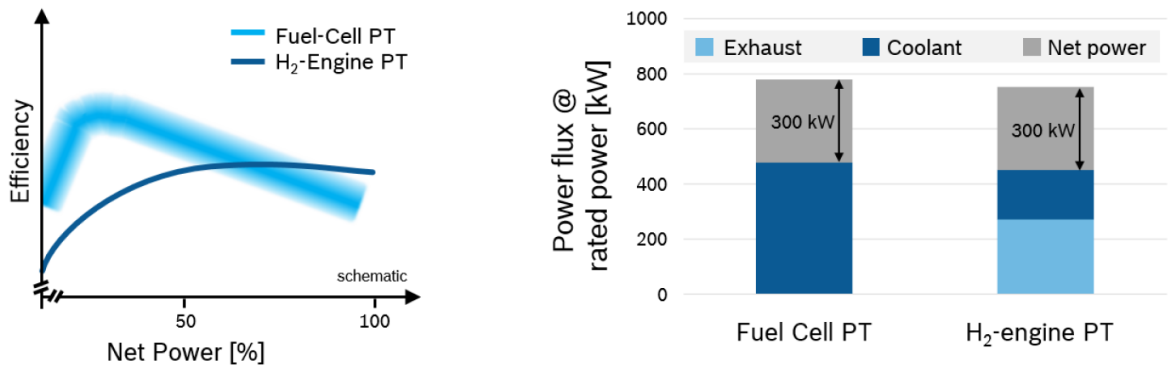


Figure 2- Comparaison des rendement / puissance fonction du pourcentage de la puissance maximale pour une Pile à combustible (Fuel Cell) et un moteur Hydrogène (source AVL 2021).

Les sociétés AVL et FEV ou encore le projet Européen Eagle ont démontré que le rendement d'une chaine de traction thermique permettait d'atteindre des rendements compris entre 30% pour les faibles charges et jusqu'à 45% ou plus pour les fortes charges.

Dans une étude interne, FEV a comparé la quantité d'énergie nécessaire à embarquer dans le cas d'applications poids-lourds H2 Fuel Cell, H2 ICE et batterie.

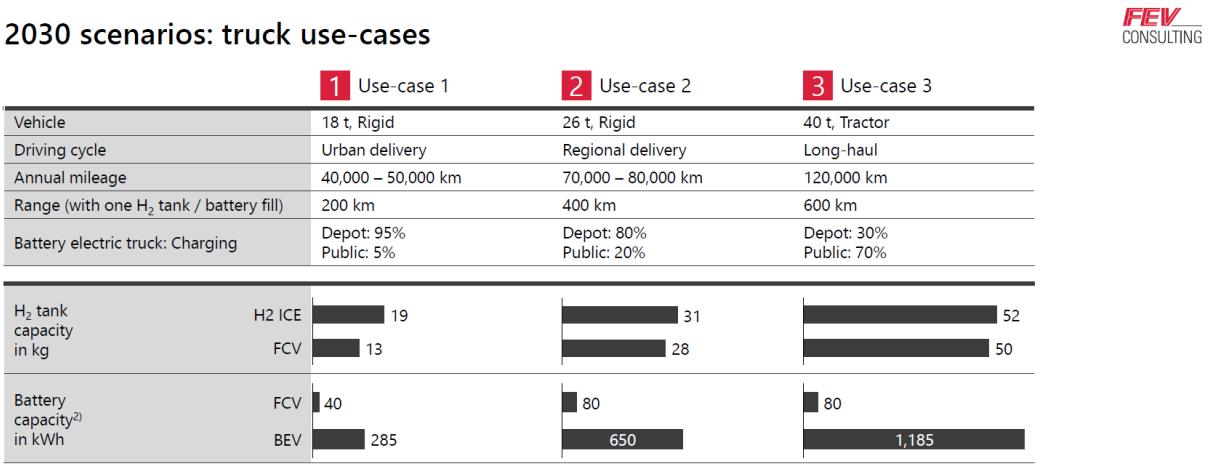


Figure 3- FEV Online Seminar - Hydrogen Powertrain Futur - March - April 2021

Les solutions de stockages de l'hydrogène étant identique pour les deux premières applications, la différence de quantité d'H2 embarqué tient au fait que le rendement d'une chaine de traction incluant une pile à combustible est légèrement supérieur à celui d'un moteur à combustion interne.

Ainsi en tenant compte des performances, de l'investissement (CAPEX) et du coût d'exploitation (OPEX), le moteur à combustion interne fonctionnant à l'hydrogène est une solution élégante permettant de répondre aux enjeux environnementaux futurs.

Rappelons que les propriétés de l'hydrogène peuvent permettre d'améliorer sensiblement le cycle thermodynamique grâce notamment à une vitesse de combustion et un indice d'Octane particulièrement importante permettant d'augmenter le rapport volumétrique des moteurs et un coefficient isentropique identique à l'air (gamma=1.4) permettant d'augmenter le rendement du cycle thermodynamique, et une tolérance a la dilution permettant de réduire considérablement les températures de flamme et donc les émissions de Nox.

La combustion de l'hydrogène est donc maitrisée et plusieurs démonstrateurs ou petites séries ont démontré la viabilité de ce concept. Cependant, devant l'évolution des performances et des niveaux de pollution exigés, les motorisations hydrogènes doivent être améliorées.

L'hydrogène étant un gaz léger et possédant un dosage air-carburant important (ne pas trop parler de stœchiométrie …), la densité énergétique contenue par unité de volume n'est pas, a priori, optimale. Une suralimentation efficace couplée à une injection directe permet de compenser le faible niveau de performance d'une motorisation standard atmosphérique à injection indirecte (AVL Vienna).

La conception de motorisation dédiée à la combustion de l'Hydrogène est la seconde voie d'amélioration. Si l'optimisation du design d'un moteur à partir d'une feuille blanche permet d'obtenir des performances exceptionnelles (cf. Projet EU Eagles par exemple), ce choix industriel ne peut être retenu dans le cas petites séries ou de moteurs industriels. Le chalenge consiste donc à modifier le design de moteur existant, en rétrofitant par exemple des moteurs à allumage par compression industriel (moteur Diesel) afin de réduire le cout de fabrication, mais en intégrant les spécificités de la combustion hydrogène c'est-à-dire en intégrant une injection directe, un allumage par bougie, une préparation du mélange air – hydrogène efficace par modification de l'aérodynamique interne du moteur par une modification de la géométrie du piston, une limitation des températures de combustion par une forte dilution à l'air et/ou EGR afin de réduire à la source la production des oxydes d'azote et donc soulager le post-traitement et réduire les températures dans le collecteur d'échappement pour qu'elles soient en accord avec les températures admissibles par les alliages de fonte.

B. ORGANISATION DU CONSORTIUM

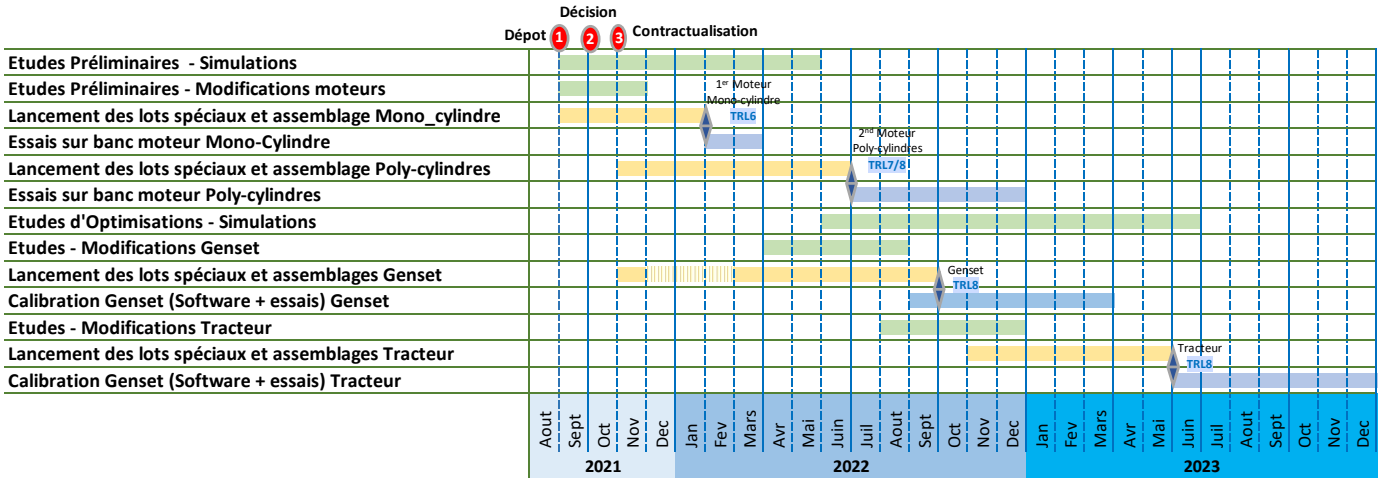
Nom du partenaire	Qualité	Catégorie d'organisme *	Budget global du partenaire	Aide demandée par le partenaire
BorgWarner	Coordonnateur Bénéficiaire	GE	2 242 102	896 841
Caillau	Bénéficiaire	GE	446 820	178 728
Duncha	Bénéficiaire	GE	341 701	136 680
John Deere	Bénéficiaire	GE	3 260 266	1 304 106
Prisme	Bénéficiaire	Laboratoire	2 099 515	2 099 515
TOTAL			8 390 404	4 623 871

* au sens de la Commission Européenne

Partenaire	Rôle dans le projet	Compétences apportées au projet	Apports du projet au partenaire
BorgWarner	Fournisseur système d'injection et Calibration Moteur	Définition du système d'injection directe (composants Hydraulique et électronique) Calibration Moteur	Développement des composants hydrauliques Développement des stratégies moteurs Hydrogène
Caillau	Fournisseur des systèmes de fixation (réservoir d'Hydrogène, échappement tuyauterie, …)	Savoir-faire en conception et réalisation de systèmes de fixation et étanchéité	Développement et fabrication des composants de fixations et étanchéité
Duncha	Fournisseur système de transfert de l'Hydrogène du réservoir vers le moteur	Définition des tubes et des connections hydrauliques spécifiques	Développement des connectiques hydrauliques
John Deere	Fournisseur du bloc moteur et intégrateur du d'injection	Définition du bloc moteur et intégration véhicule	Développement des composants moteurs
Prisme	Compétence et expertise sur la combustion de l'Hydrogène	Définition et optimisation des paramètres de combustion moteur	Développement des connaissances physiques de la combustion de l'Hydrogène

C. CALENDRIER

C.1. Planning indicatif du projet



C.3. Jalons Intermédiaires

→ Un jalon correspond à un Go/No-Go d'un lot ou du projet : de nature technique, réglementaire, commerciale...

Décrire chaque jalon identifié et présenter les indicateurs associés à ces jalons :

Le projet décrit ne s'inscrit pas dans le cadre d'une succession de tâches jalonnées mais il est défini sur un modèle d'ingénierie simultanée ou les tâches sont lancées en parallèles et les différents indicateurs du succès ne sont pas définis comme étant des Go/NoGo des tâches suivantes. Ces jalons marqueront la fin des activités de lots définis et des différentes itérations associées. Cette nouvelle technologie restera en constante évolution jusqu'à l'achèvement des démonstrateurs Genset et Tracteur dans le respect des objectifs qui seront fixés.

Description du jalon	***Date prévisionnelle***	***Indicateurs de succès du jalon***
JI 1 *Etude Préliminaire Simulation et banc - moteurs #1 et #2*	*T0 + 9 mois (date indicative 05/2022)*	Atteinte des objectifs sur Monocylindre (moteur #1) : performances moteur. Atteinte des objectifs sur Poly Cylindres (moteur #2) : performances moteur, émissions.
JI 2 *Etude d'optimisation Simulation et banc - moteurs #1 et #2*	*JL1+13 mois (date indicative 06/2023)*	Optimisation des paramètres majeurs de la combustion de l'hydrogène pour la définition du système en vue d'identifier les voies d'amélioration pour l'industrialisation de ce type de moteur.
JI 3 *Démonstrateur Genset - moteur #3*	*T0 + 19 mois (date indicative 03/2023)*	Intégration du système sur un démonstrateur Genset existant et atteinte des objectifs puissances, émissions et autonomie.
JI 4 *Démonstrateurs Véhicule - moteur #4*	*T0 + 28 mois (date indicative 12/2023)*	Intégration du système sur un démonstrateur véhicule (tracteur) existant et atteinte des objectifs puissances, émissions et autonomie.

D. PLAN DE TRAVAIL

D.1. Lotissement du projet

→ Présenter les lots du projet avec leurs objectifs principaux et les éventuelles interdépendances

N° Lots	Intitulé des tâches	BorgWarner	Caillau	Duncha	John Deere	Prisme
1.0.0	**Etude Préliminaire Simulation et banc - moteurs #1 et #2**	X	X	X	X	X
2.0.0	**Etude d'optimisation Simulation et banc - moteurs #1 et #2**	X	X	X	X	X
3.0.0	**Démonstrateur Genset - moteur #3**	X	X	X	X	
4.0.0	**Démonstrateurs Véhicule - moteur #4**	X	X	X	X	

Détails des sous lots et Tâches

N° Tâches	Intitulé des tâches	BorgWarner	Caillau	Duncha	John Deere	Prisme
1.0.0	**Etude Préliminaire Simulation et banc - moteurs #1 et #2**	X	X	X	X	X
1.1.1	Simulation Combustion 3D; 1D (0D)					X
1.1.2	Etude Préliminaire Spray					X
1.2.1	Etude implantation moteur Pré-étude concept	X				
1.2.2	Etude implantation moteur des injecteurs et bougies	X			X	X
1.2.3	Etude modification moteur (piston, arbre cames)				X	X
1.3.1	Appro composants - lots spéciaux	X	X	X	X	
1.3.2	Assemblage et usinage moteur #1 (Multi 4 cyl. => Monocylindre)				X	
1.3.3	Assemblage moteur #1 (Multi => Monocylindre)				X	
1.3.4	Modification moteur #1 en monocylindre					X
1.3.5	Développement soft control moteur #1	X				X
1.3.6	Essai sur Monocylindre (Tps sur banc + conso H2 + sous traitance)					X
1.4.1	Finalisation études composants moteur #2 + spare parts (faisceau, contrôle)	X	X	X	X	
1.4.2	Modification composant moteur #2 + spare parts (versus résultats moteur #1)				X	
1.4.3	Développement produits	X				
1.4.4	Lot prototype des composants moteur #2 + spare parts	X	X	X	X	
1.4.5	Assemblage moteur #2 + spare parts				X	
1.4.6	Etude optimisation revêtement wet system (injecteur)	X				
1.4.7	Préparation banc moteur #2	X			X	
1.4.8	Préparation Moteur #2	X				
1.4.9	Support software core H2	X				
1.4.10	Préparation architecture ECU	X			X	

1.4.11	Test validation sur banc hydraulique (composants)	X				
1.4.12	System test rig	X				
1.4.13	Support Calibration	X				
1.4.14	Essais moteur et mesures (cout combustible H2 !)	X				
1.0.1	Gestion de projet	X	X	X	X	X

N° Tâches	Intitulé des tâches	BorgWarner	Caillau	Duncha	John Deere	Prisme
2.0.0	**Etude d'optimisation Simulation et banc - moteurs #1 et #2**	X	X	X	X	X
2.1.1	Optimisation Simulation Combustion 3D; 1D (0D)					X
2.2.1	Optimisation Etude Injection (spray, spray avec aérodynamique)					X
2.3.1	Optimisation Etude combustion (P Cyl.; Température Max; puissance; couple; rendement)					X
2.3.2	Optimisation Huilage					X
2.3.3	Optimisation consommation					X
2.3.4	Optimisation mécanique (Segmentation; piston; arbre cames): design et matériaux					X
2.3.5	Optimisation Emission					X
2.3.6	Rapport de fin de lot N°2					X
2.0.1	Gestion de projet					X

N° Tâches	Intitulé des tâches	BorgWarner	Caillau	Duncha	John Deere	Prisme
3.0.0	**Démonstrateur Genset - moteur #3**	X	X	X	X	X
3.1.2	Etude implantation moteur dans l'application Genset	X	X	X	X	
3.1.2	Etude implantation des réservoirs dans l'application		X		X	
3.1.2	Etude ligne Aftertreatment		X		X	
3.1.3	Réalisation et appro ligne aftertreatment		X		X	
3.1.4	Etude architecture et contrôle du system basse pression H2	X	X	X	X	
3.1.5	Etude architecture et contrôle du system haute pression H2 / Stockage / Safety	X	X	X	X	
3.2.1	Appro composants proto - lots spéciaux	X	X	X	X	
3.2.1	Achat Genset pour démo				X	
3.2.2	Modification composant moteur #3				X	
3.2.2	Assemblage moteur #3 + intégration moteur/réservoir Genset				X	
3.2.3	Préparation banc Genset pour charge sur génératrice et mesures Phase 2: **Alimentation H2 ?**				X	
3.2.4	Préparation ECU (SCR; CAN ….)	X			X	
3.2.5	Préparation Moteur #3	X				

3.2.6	Etude Calibration et Software	X			X	
3.2.7	Essai moteur et mesures #3 sur Genset	X			X	
3.2.7	Test chaud froid rapide	X				
3.0.1	Gestion de projet	X	X	X	X	

N° Tâches	Intitulé des tâches	BorgWarner	Caillau	Duncha	John Deere	Prisme
4.0.0	**Démonstrateurs Véhicule - moteur #4**	X	X	X	X	X
4.1.1	Etude implantation moteur sur véhicule			X	X	
4.1.1	Etude ligne Aftertreatment		X		X	
4.1.1	Réalisation et appro ligne aftertreatment		X		X	
4.1.2	Etude implantation réservoir H2 sur véhicule		X	X	X	
4.1.3	Etude architecture et contrôle du system (Véhicule; moteur; réservoir)	X			X	
4.2.1	Appro composants proto - lots spéciaux	X	X	X	X	
4.2.1	Appro composants proto - lots spéciaux Réservoir H2 et control				X	
4.2.1	Achat tracteur pour démo				X	
4.2.2	Modification composant moteur #4				X	
4.2.3	Assemblage moteur #4				X	
4.2.4	Intégration moteur #4 et réservoir sur Véhicule				X	
4.2.5	Préparation ECU (SCR; CAN ….)	X			X	
4.2.6	Etude Calibration et Software	X			X	
4.2.7	Essais véhicule (cout combustible H2 !)	X			X	
4.2.8	Finalisation Démonstrateur Véhicule pour le rendre industrialisable	X	X	X	X	
4.0.1	Gestion de projet	X	X	X	X	

D.2. Détails des tâches des différents lots

Tâche n° : 1.1	Etude Préliminaire Simulation			
Prisme				

Date de démarrage : T0 (*T0 = date de démarrage du projet)*

Date de fin : T0 + 9 mois

Durée (en mois) : 9

Objectifs : Résultats attendus (et indicateurs associés)
L'objectif est de concevoir une géométrie de chambre de combustion, localisée dans le piston, parfaitement adaptée à la combustion hydrogène au regard de contraintes liés à la réalisation des deux démonstrateurs. Afin d'atteindre les performances attendues en termes de puissance, couple et émissions polluantes, une co-optimisation de la chambre de combustion, de l'injecteur, du turbo-compresseur, des réglages moteurs (phasage et durée d'injection, préparation du mélange, avance à l'allumage…) doit être réalisée grâce à l'aide de logiciel de calcul 3D (Converge) et 0D/1D (GT Power). Les technologies liées à l'injecteurs et au turbocompresseur évoluant fortement, une mise à jour récurrente des résultats des simulations permettrons d'améliorer les briques technologiques des deux démonstrateurs et de capitaliser l'expérience numérique et expérimentale pour les industriels Borg Warner et John Deere.

Travaux réalisés et moyens mis en œuvre :

- Création d'un modèle numérique de 0D/1D du moteur.
  Afin de pré-designer le turbocompresseur et le moteur, un modèle numérique sous GT-Power sera élaboré. Les modèles de combustion H2 seront également évalués.
- Tâche n° 1.1.1.2 : Modélisation 3D de l'injection d'H2.
  Afin de préparer les calculs 3D du moteur, l'injection d'H2 dans des conditions idéales seront réalisées. Les résultats de calcul seront comparés aux résultats de mesures expérimentales réalisées en Tâche 2.
- Modélisation 3D de l'aérodynamique interne.
- Modélisation 3D de la préparation du mélange.
- Modélisation 3D de la combustion.

Description des coûts :
Licences annuelles des logiciels Converge et GTPower et ordinateurs de traitements (27k€)

Description de la sous-traitance :
Heures de Calcul sur le Mésocentre numérique de la région Centre Val de Loire (Cascimodot) : 0.15€ de l'heure sur 256 processeurs pendant un an = 352 k€
Formations spécifiques logiciels (20k€)

Description des investissements à réaliser ou à mobiliser pour le projet :
Station de calcul pour l'analyse des résultats (30k€)

Livrables : *(numéro et intitulé de livrable)*

- Livrable n° 1.1.a : Modèle numérique de 0D/1D du moteur
- Livrable n° 1.1.b : Modèle 3D de l'injection d'H2
- Livrable n° 1.1.c : Première géométrie de piston et première stratégie d'injection.
- Livrable n° 1.1.d : Modèle 3D complet du monocylindre

Tâche n° : 1.3	Etude Préliminaire sur Mono Cylindre			
BorgWarner	Caillau	Duncha	John Deere	Prisme

Date de démarrage : T0 *(T0 = date de démarrage du projet)*

Date de fin : T0 + 7 mois

Durée (en mois) : 7

Objectifs : Résultats attendus (et indicateurs associés)

L'objectif est de valider les résultats de simulations des tâches 1.1 et 2.1 pour la conception de la chambre de combustion adaptée à la combustion hydrogène au regard de contraintes liés à la réalisation des deux démonstrateurs. Afin d'atteindre les performances attendues en termes de puissance, couple et émissions polluantes, une co-optimisation de la chambre de combustion, de l'injecteur, du turbo-compresseur, des réglages moteurs (phasage et durée d'injection, préparation du mélange, avance à l'allumage…) doit être confirmé sur le banc moteur Mono cylindre. Les technologies liées à l'injecteurs et au turbocompresseur évoluant fortement, une mise à jour récurrente des résultats des simulations permettrons d'améliorer les performances pré définies en vue de l'industrialisation des deux démonstrateurs des tâches 3.1 et 4.1.

Travaux réalisés et moyens mis en œuvre :

Etudes et intégration du système d'injection et d'allumage

Etudes des performances du moteur Mono Cylindre afin de valider les résultats obtenus en simulation et de les corréler.

Pour cela il sera nécessaire de réaliser des composants prototypes et de transformer un moteur 4 cylindres Diesel existant en un moteur Mono Cylindre pour l'Hydrogène.

Description des coûts :

Etude modifications composants/adaptation moteur (20 k€)

Achats : *consommables, petit matériel, composants, …*

- Achat d'un Moteur 4 Cylindres existant puis transformation en Mono cylindre (20 k€)
- Tubes HP pour connexion injecteur
- Achats injecteurs

Livrables : *(numéro et intitulé de livrable)*

- Livrable n° 1.3.a : Rapport fin de lot

Tâche n° : 1.4	Etude Préliminaire sur Poly Cylindres			
BorgWarner	Caillau	Duncha	John Deere	Prisme

Date de démarrage : T0 + 2 mois *(T0 = date de démarrage du projet)*

Date de fin : T0 + 16 mois

Durée (en mois) : 14

Objectifs : Résultats attendus (et indicateurs associés)

L'objectif est de définir les méthodologies spécifiques à la calibration d'un moteur à combustion d'Hydrogène et de valider les interactions entre tous les composants.

Cette tâche permettra également d'affiner les paramétrages spécifiques à chacune des 2 applications de nos démonstrateurs des tâches 3.1 et 4.1 et d'atteindre les objectifs de performances définis.

Cette tâche permettra également de valider les aspects durabilités du projet.

Travaux réalisés et moyens mis en œuvre :

Etudes et intégration du système d'injection et d'allumage pour 6 cylindres

Etudes des performances du moteur Poly Cylindres afin de valider les résultats obtenus sur le Mono Cylindre et en simulation et de les corréler.

Pour cela il sera nécessaire de réaliser des composants prototypes et de transformer un moteur 4 cylindres Diesel existant en un moteur Mono Cylindre pour l'Hydrogène.

Description des coûts :

Etude modification composants et intégration système injection hydrogène (35 k€)

Sous-traitance : *réalisation de prototypes, études, … (préciser les prestataires envisagés)*

- Réalisation composants prototypes moteur (cache culbuteur, boitier thermostat, piston, support) par fournisseurs JD actuels (90 k€)

Achats : *consommables, petit matériel, composants, …*

- Achat d'un Moteur 6 Cylindres existant/Achat-fabrication pièces prototypes/transformation du moteur (45 k€)
- Tubes HP pour le développement de la connexion avec les injecteurs et le Common Rail ainsi que des outillages permettant la validation (interfaces de serrages, interfaces d'étanchéité)
- Tubes HP avec parcours spécifique au moteur pour la connexion des injecteurs au système Common rail

Investissements : *machine-outil, équipements de mesure, …* • Achat outils usinage culasse (30 k€)
Livrables : *(numéro et intitulé de livrable)* • Livrable n° 1.4.a : Rapport fin de lot

Tâche n° : 2.1	Etude d'optimisation Simulation et banc - moteurs Mono et Poly Cylindres			
Prisme				

Date de démarrage : T0 + 9 mois *(T0 = date de démarrage du projet)*

Date de fin : T0 + 22 mois

Durée (en mois) : 13

Objectifs : Résultats attendus (et indicateurs associés)
L'objectif est d'optimiser les résultats obtenus lors de l'étude préliminaire de la tâche 1.1 en s'appuyant sur les résultats fondamentaux des essais réalisés sur les moteurs Mono et Poly Cylindres des tâches 1.3 et 1.4. Cette tâche sera poursuivie jusqu'à la fin du projet afin de produire un compte rendu exhaustif des voies d'améliorations à envisager pour l'industrialisation des démonstrateurs réalisés aux tâches 3.1 et 4.1.

Travaux réalisés et moyens mis en œuvre :
- Optimisation et finalisation du modèle numérique de 0D/1D du moteur.
- Optimisation et finalisation du modèle numérique pour designer le turbocompresseur et le moteur, ainsi que les modèles de combustion H2.
- Optimisation et finalisation du modèle 3D de l'injection d'H2.
- Comparaison des résultats de calculs aux résultats de mesures expérimentales réalisées en Tâche 2.1.
- Optimisation et finalisation du modèle 3D de l'aérodynamique interne.
- Optimisation et finalisation du modèle 3D de la préparation du mélange.
- Optimisation et finalisation du modèle 3D de la combustion.

Description des coûts :
Licences annuelles des logiciels Converge et GTPower et ordinateurs de traitements (27k€)

Description de la sous-traitance :
Heures de Calcul sur le Mésocentre numérique de la région Centre Val de Loire (Cascimodot) : 0.15€ de l'heure sur 256 processeurs pendant un an = 352 k€

Livrables : *(numéro et intitulé de livrable)*
- Livrable n° 2.1.a : Modèle numérique de 0D/1D du moteur
- Livrable n° 2.1.b : Modèle 3D de l'injection d'H2
- Livrable n° 2.1.c : Première géométrie de piston et première stratégie d'injection.
- Livrable n° 2.1.d : Modèle 3D complet du monocylindre

Tâche n° : 3.1	Démonstrateur Genset			
BorgWarner	Caillau	Duncha	John Deere	

Date de démarrage : T0 + 2 mois *(T0 = date de démarrage du projet)*

Date de fin : T0 + 19 mois

Durée (en mois) : 17

Objectifs : Résultats attendus (et indicateurs associés)

Réalisation d'un démonstrateur type Genset (Groupe Electrogène) fonctionnant à l'Hydrogène ayant les mêmes performances que le modèle Diesel dont il sera issu.

Déterminer l'autonomie obtenue avec les dispositifs de stockage d'Hydrogène disponible à ce jour.

Travaux réalisés et moyens mis en œuvre :

- Etudes d'intégration des composants moteurs nécessaires.
- Etudes et développement de la gestion haute et basse pression de l'Hydrogène sur un Genset.
- Réalisation des prototypes.
- Intégration des réservoirs d'Hydrogène
- Développement des ECU, software et partie applicative pour le contrôle moteur.
- Etude de l'architecture Electronique permettant l'interfaçage du Tracteur avec le contrôle Moteur
- Test et mesures sur Genset avec volant de charge représentative des conditions réelles
- Essais en condition Froide

Description des coûts :

- Etude intégration moteur/réservoirs hydrogène dans Groupe électrogène (30 k€)

Sous-traitance : *réalisation de prototypes, études, … (préciser les prestataires envisagés)*

- Caillau : essais externes (CEA) des fixations de réservoir = 10k€
  - Etude du système H2 (HP, BP) = 33k€
- Réalisation composants prototypes moteur (cache culbuteur, boitier thermostat, piston, support) par fournisseurs JD actuels (90 k€)
- Prototypage support/fixation réservoirs hydrogène dans groupe électrogène (65 k€)

Achats : *consommables, petit matériel, composants, …*

- Achat d'un Genset existant (80 k€)
- Achat de réservoirs d'Hydrogène certifiés (30 k€)
- Achat Hydrogène pour essais
- Tubes HP pour le développement de la connexion avec les réservoirs ainsi que des outillages permettant la validation de cette connexion (interfaces de serrages, interfaces d'étanchéité)
- Tubes HP avec parcours spécifique au GENSET pour la connexion des injecteurs au système Common Rail
- Tubes HP avec parcours spécifique au GENSET pour réaliser la connexion du Common rail au distributeur
- Tubes HP avec parcours spécifique au GENSET pour réaliser la connexion du distributeur au(x) réservoir(s)

• Caillau : Achat des composants H2 (détendeurs, soupapes, …) = 12k€
  ▪ Achat d'un réservoir H2 pour essai des fixations (PlasticOmnium) = 7k€
  ▪ Achat d'outillage d'emboutissage pour réalisation des fixations = 15k€
• Fourniture des ECU, capteurs et sensors, injecteurs, régulateurs de pression

Livrables : *(numéro et intitulé de livrable)* • Livrable n° 3.1.a : Rapport d'essais sur Genset

Tâche n° : 4.1	Démonstrateurs Véhicule			
BorgWarner	Caillau	Duncha	John Deere	

Date de démarrage : T0 + 10 mois *(T0 = date de démarrage du projet)*

Date de fin : T0 + 28 mois

Durée (en mois) : 18

Objectifs : Résultats attendus (et indicateurs associés)

Réalisation d'un démonstrateur type Tracteur (Agricole) fonctionnant à l'Hydrogène ayant les mêmes performances que le modèle Diesel dont il sera issu.

Déterminer l'autonomie obtenue avec les dispositifs de stockage d'Hydrogène disponible à ce jour.

Travaux réalisés et moyens mis en œuvre :

- Etudes d'intégration des composants moteurs nécessaires.
- Etudes et développement de la gestion haute et basse pression de l'Hydrogène sur un Tracteur.
- Réalisation des prototypes.
- Intégration des réservoirs d'Hydrogène
- Développement des ECU, software et partie applicative pour le contrôle moteur.
- Test et mesures sur Genset avec volant de charge représentative des conditions réelles

Description des coûts :

- Etude intégration moteur/réservoir hydrogène dans Groupe électrogène (30 k€)
- Intégration moteur & circuit hydrogène dans le tracteur (80 k€)

Sous-traitance : *réalisation de prototypes, études, … (préciser les prestataires envisagés)*

- Caillau : essais externes (CEA) des fixations de réservoir = 10k€
  - Etude du système H2 (HP, BP) = 40k€
- Réalisation composants prototypes moteur (cache culbuteur, boitier thermostat, piston, support) par fournisseurs JD actuels (150 k€)
- Prototypage support/fixation réservoirs hydrogène dans groupe électrogène (90 k€)

Achats : *consommables, petit matériel, composants, …*

- Achat d'un Tracteur existant (200 k€)
- Achat de réservoirs d'Hydrogène certifiés (30 k€)
- Tubes HP avec parcours spécifique au TRACTEUR pour la connexion des injecteurs au système Common Rail
- Tubes HP avec parcours spécifique au TRACTEUR pour réaliser la connexion du Common rail au distributeur
- Tubes HP avec parcours spécifique au TRACTEUR pour réaliser la connexion du distributeur au(x) réservoir(s)
- Caillau : Achat des composants H2 (détendeurs, soupapes, …) = 15k€
  - Achat d'un réservoir H2 pour essai des fixations (PlasticOmnium) = 7k€
  - Achat d'outillage d'emboutissage pour réalisation des fixations = 15k€
- Fourniture des ECU, capteurs et sensors, injecteurs, régulateurs de pression

Livrables : *(numéro et intitulé de livrable)* • Livrable n° 4.1.a : Rapport d'essais sur Tracteur