Programme de R&D menés
par Terrasolis et ses partenaires

2019
2020

TERRASOLIS

Le pôle d'innovation de la ressource bas carbone

Notre ambition : Faire de Terrasolis, le pôle d'innovation de la ressource «bas carbone» au service de l'accompagnement de l'agriculture et des territoires pour atteindre les objectifs de neutralité carbone 2050.

Notre rôle : contribuer à la mise en synergie des acteurs pour favoriser l'émergence d'un modèle d'économie circulaire durable et générateur de valeur ajoutée sur les territoires.

Pour cela, nous développons des solutions grâce à nos outils opérationnels et complémentaires les uns aux autres pour une offre complète et le fonctionnement d'un écosystème fiable et optimisé.

Les outils opérationnels de l'écosystème by Terrasolis

Terrasolis HUB

Le réseau d'acteurs innovants

Initiateur de relations et d'échanges entre acteurs du territoire pour l'émergence de projets collaboratifs innovants par le prisme du partage d'expérience et de l'intelligence collective.

Terrasolis FARM

La ferme expérimentale

Démonstrateur à taille réelle d'une exploitation grande culture bas carbone performante et durable, dans un objectif d'augmentation de la productivité de carbone renouvelable (+25%) associée à une réduction de la consommation d'énergies fossiles (-75%)

Terrasolis ENERGY

La filiale énergies

Développeur de solutions de production et de valorisation d'énergies renouvelables à partir de ressources locales pour les acteurs du territoire via la création de CEER, de stations multiénergies KarrGreen® et de plateformes numériques.

Terrasolis PARK

Le parc d'affaires

Terre d'accueil d'activités, de sociétés et start-up innovantes en lien avec l'agriculture, les énergies renouvelables et la bioéconomie, proposant une offre originale d'énergies bas carbone

FOCUS SUR TERRASOLIS FARM ET SES RÉSULTATS

La ferme expérimentale située sur une ancienne friche militaire, terre de démonstration d'une agriculture bas carbone avec un objectif de réduction des émissions de gaz à effet de serre et de production de carbone renouvelable.

À travers cet outil, l'équipe de Terrasolis développe des solutions innovantes pour l'agriculture régionale. Ainsi, l'agriculture est considérée à la fois en tant qu'activité économique durable et résiliante, génératrice de valeur ajoutée pour les agriculteurs et les territoires, et qu'activité apportant les ressources nécessaires afin de répondre aux besoins et aux enjeux de la société pour l'atteinte de l'objectif de la neutralité carbone 2050.

Découvrez ainsi les résultats de nos expérimentations systèmes de culture et pratiques culturales.

Les 5 systèmes de culture innovants

Campagnes 2017-2020

À noter que le contenu relatif aux objectifs, aux matériels et méthodes sont identiques au livrable 2019.

Objectifs

Notre mission est de concevoir, mettre en œuvre et évaluer des systèmes de culture innovants, en rupture à l'échelle répondant aux 3 enjeux suivants :

Assurer la productivité économique des systèmes dans une moindre dépendance aux énergies fossiles

Prendre en compte les valeurs de durabilité attendues par la société (concept de l'agroécologie)

Assurer la fourniture de la ressource agricole (carbone renouvelable) en qualité et quantité aux industries de l'aval de la région.

Matériels et méthodes

CONSEIL SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

Pour accompagner et valider les travaux, un premier Comité Scientifique et Technique (CST) est créé. Il se compose des partenaires de la première heure (Chambres d'Agriculture, Coopératives, Recherche). Il s'est étoffé au fil du temps par l'implication de nouveaux partenaires dans l'association.

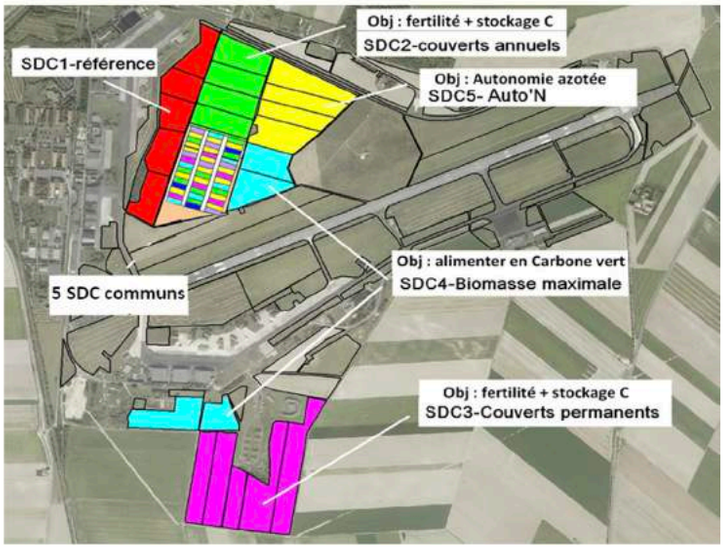
DÉMONSTRATEUR À TAILLE RÉELLE

Avec la volonté de faciliter le transfert des connaissances vers les agriculteurs (cible prioritaire), Terrasolis a fait le choix de créer une véritable exploitation agricole en collaboration avec 6 agriculteurs historiques de la base qui assurent l'ensemble des travaux agricoles sur une surface de 220 ha en grandes parcelles comme le ferait une ferme classique.

EXPÉRIMENTATION SYSTÈMES DE CULTURE

Ici, il s'agit bien de travailler à l'échelle du système de culture permettant une approche transversale de l'agriculture. 5 systèmes de culture innovants représentés par des rotations de 7 à 9 ans typiques de la Champagne crayeuse, sont aujourd'hui testés. Les SDC sont implantés sur des parcelles de 3 hectares en moyenne et au moins la moitié de la rotation sera présente chaque année, ce qui permet toute à la fois de travailler « en condition agriculteurs » et de suivre une méthodologie scientifique, en particulier en termes d'acquisition de données. L'expérimentation « système » s'inscrit sur des pas de temps longs, tout en veillant à la stabilité et à la constance des objectifs définis. En ce sens, les systèmes sont conduits sur au moins une rotation complète.

Descriptif des cinq premiers systèmes de culture (SDC)



Système de culture 1 : Référence optimisée

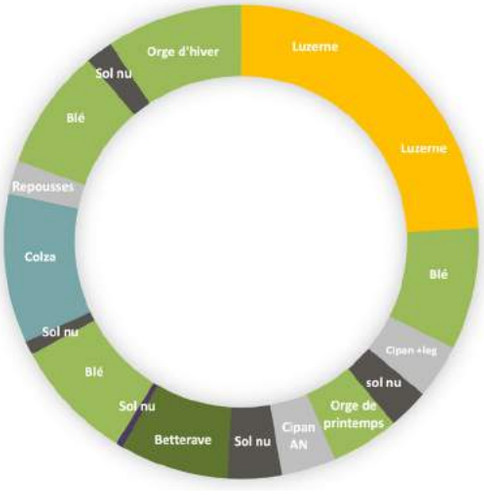
Objectifs : prendre en compte les évolutions réglementaires et les optimisations des pratiques actuelles au rythme des innovations et du changement agricole général.

Principe : reproduire un système témoin qui reprend les pratiques actuelles optimisées (au niveau des itinéraires techniques, de la gestion de l'interculture) tout en intégrant, au cours du temps, les évolutions réglementaires, techniques, génétiques… comme le font les agriculteurs.

Système de culture 2 : Techniques culturales simplifiées et couverts annuels

Objectifs : améliorer la fertilité du sol et le stockage de carbone pour une réduction voire une absence de travail du sol et une plus grande couverture du sol en intercultures.

Principe : proposer un système caractérisé par un travail du sol réduit et une couverture du sol annuelle plus importante en intercultures tout en conservant la rotation de référence.



Système de culture 3 :
Couvert permanent

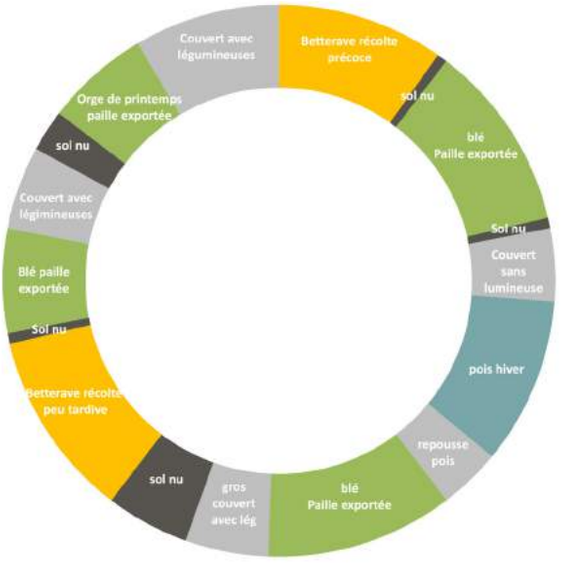
Objectifs : ce système de culture conserve les mêmes objectifs que le système de culture 2 mais en franchissant une marche supplémentaire, c'est-à-dire qu'il sera, sauf exception, sans travail du sol (donc sans betterave) et avec une couverture permanente du sol.

Principe : ce système revient à tester les principes de l'agriculture de conservation des sols en contexte pédoclimatique de Champagne crayeuse.

Système de culture 4 :
Biomasse exportée maxi

Objectifs : Fournir en plus grande quantité les filières avales tant sur le plan alimentaire que sur le plan non alimentaire

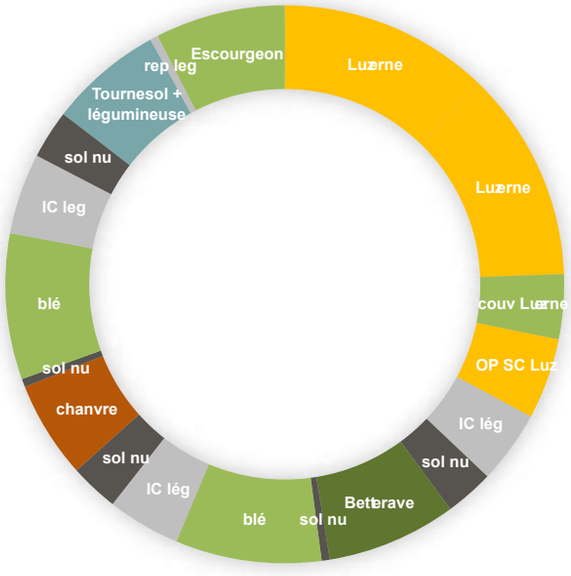
Principe : accroître la capacité de production et d'exploitation de carbone renouvelable issue de la biomasse végétale à l'hectare. Validé par la commission ressource du pôle IAR, ce système est orienté vers la production de carbone pour un usage dédié à la saccharification (alimentaire et non alimentaire), c'est-à-dire produire des sucres de 1ère génération issus de la betterave dont nous maximiserons la présence à l'échelle de la rotation et des sucres de structure ligno-cellulosique (2ème génération) issus des pailles des céréales.



Système de culture 5 :
Autonomie Azotée (Auto'N)

Objectifs : introduire un ensemble de leviers techniques et agronomiques pour réduire de moitié la fertilisation azotée minérale à l'échelle du système.

Principe : mettre en place un système qui consomme 50% d'azote minéral en moins afin de réduire fortement les quantités de gaz à effet de serre émis.



Caractérisation de l'état initial des parcelles des cinq systèmes de culture

Dès le lancement du projet, l'état initial a été réalisé sur le parcellaire destiné aux expérimentations système. Il permettra de constater les évolutions des caractéristiques du sol sur le long terme.

Carbone organique et azote total du sol

Ces mesures ont été effectuées en collaboration avec l'INRA de Laon (Bruno Mary et Guillaume Vitte) en octobre 2016. Les prélèvements ont été effectués avec l'HUMAX jusqu'à 60 cm. Les stocks sont calculés à l'aide des mesures de densités apparentes faites selon deux méthodes : la sonde Gamma et par prélèvements à la tarière pneumatique tous les 5 cm.

Carte pédagogique et fosses pédagogiques

La carte pédologique a été effectuée par un pédologue en juin 2015 sur les 2 zones expérimentales grâce à un sondage à la tarière tous les 100 mètres. De plus, 5 fosses ont été ouvertes.

Résistivité du sol

Une cartographie de la résistivité des parcelles a été réalisée en 2015 par Géocarta.

Biomasse microbienne

Prélèvements réalisés en 2016 et analyses effectuées avec l'Inra de Reims.

Photo aérienne

Une photo aérienne a été réalisée à l'aide d'un drone le 24 juin 2015 en pleine sècheresse. Cette carte de haute résolution (5cm) nous permet de voir les anomalies dans les parcelles et de s'en écarter pour réaliser nos mesures (impacts des deux guerres mondiales).

Cartographie rendement

Une cartographie des rendements «céréales» a été réalisée lors de la campagne 2015-2016.

Analyse des sols

2 campagnes d'analyses de sol ont été effectuées en août 2014 à la faveur de l'étude pédologique et mars 2015 à la faveur des prélèvements de biomasse microbienne.

Les analyses réalisées sont pourcentage de carbone organique (Iso 14235), %MO (Cx1.72), % Ntotal (Iso11261), C/N, % Calc total (Iso 10693), PH eau (Iso 10390), ppm P2O5 (Joret Hebert), ppm K2O et ppm MgO (x31-108), ppm B (x31-122), ppm Zn, Cu, Mn (x31-121). 2 Parcelles ont été analysées pour les métaux lourds (chrome total, cuivre total, nickel total, plomb total, zinc total)

Diognostic biodiversité

2 parcelles «fil rouge» ont été choisies par système de culture. Dans chacune d'elles sont effectués des prélèvements à la bèche sur 3 placettes de 40x40x30cm pour dénombrer les vers de terre. Ils sont triés selon le protocole de l'OPVT du muséum d'histoire naturelle.

Pédothèque

Dans les zones représentatives (mêmes zones que celles définies pour la mesure des rendements expérimentaux) de chaque parcelle, un échantillon homogène de sol a été constitué à partir de 5 sous-échantillons prélevés à la tarière à main et poolés en un seul échantillon, réalisées pour 4 profondeurs (0-10cm ; 10-20 cm ; 20-30 cm ; 30-40 cm). La terre a été séchée 48 heures à 40°C et conservée dans des pots hermétiques étiquetés, d'une contenance d'environ 700 grammes de terre sèche, pour réaliser notre pédothèque.

Relevé floristique méthode barralis

Un relevé a été effectué sur toutes les parcelles des 5 systèmes de culture en mars 2015

Évaluation multicritère

Une liste d'indicateurs d'intérêt a été validée par le comité scientifique et technique et s'organise en deux catégories :

- Indicateurs de réussite : ils nous permettent d'apprécier en quoi nos systèmes répondent à leurs objectifs prioritaires et à leurs contraintes;
- Indicateurs de performance : ils nous permettent d'évaluer chaque système (qui devra être réussi) par ses performances atteintes.

Indicateur économique

Nom de l'indicateur	Mesure – calcul – modélisation – remarque
Rendement	Mesuré annuellement sur une zone représentative de la parcelle de 0.5 à 1ha
Marge brute (avec ou sans droit de préemption urbain)	Calculées annuellement et à l'hectare à partir de la traçabilité de chaque parcelle en utilisant les prix d'achat et de vente annuels. Le produit sera calculé sur la même base. Les charges de mécanisation sont calculées pour un parc matériel adapté à une exploitation de 250 ha avec le coût du barème d'entraide. Calcul fait chaque année par culture et par hectare ainsi que pour le système de culture
Charges de mécanisation	
Marge semi-nette (avec ou sans droit de préemption urbain)	
Coût de production	Indicateurs calculés annuellement et à l'hectare dans un deuxième temps à partir des indicateurs au-dessus à l'échelle du système. Résultat = Marge brute – charges mécaniques – charges fixes – fermage Produit total : produit + aide – charges totales (intrants, mécaniques)
Efficience économique (Produit totales/charges totales)	
Autonomie économique (Marge brute globale / produit)	
Sensibilité aux aides (aides/résultat courant)	

Indicateurs agronomiques et technologiques

Nom de l'indicateur	Mesure – calcul – modélisation - remarque
Maîtrise du statut organique du sol	Mesure des teneurs et stocks en carbone organique du sol tous les 5 ans Modélisation des systèmes de culture *a priori* avec Simeos AMG Comparaison mesures/simulations possible *a posteriori* avec Simeos AMG (rendements culture et interculture, apports matière organique, restitutions réalisés)
Maîtrise de l'état structural du sol	Y-a-t-il du tassement ? Mesure du tassement avec un test bêche ou un pénétromètre
Maîtrise du PH du sol	Mesure du PH du sol tous les 5 ans
Maîtrise de la fertilité phosphore	Mesures des teneurs en phosphore tous les 4-5 ans (méthode Olsen pour phosphore disponible et phosphore total pour le stock du sol)
Maîtrise des adventices	Observations en cours de campagne (hebdomadaire d'avril à juillet)
Maîtrise des maladies	
Maîtrise des ravageurs	
Maîtrise de l'érosion	Observation en cours de campagne
Qualité sanitaire	La qualité sanitaire des denrées (à définir avec les OS)
Qualité technologique	La qualité technologique (à définir avec les OS)

Indicateur environnementaux

Type	Nom indicateur	Mesure – calcul – modélisation - remarque
Azote	Perte de NO_3^-	Modélisation avec **Stics**. Le modèle sera "forcé" pour simuler au mieux les teneurs en azote dans le sol et les exportations (grain + paille) et donc pouvoir en déduire correctement les pertes sous racinaires Les mesures de RAR, RDD, RSH, les rendements et les teneurs en C et N seront réalisés sur paille et grain
	Perte de NH_3	
	Perte directe N_2O	
	Azote apportée	Calcul des quantités d'N apportées aux cultures à partir de la traçabilité
Phyto	IFT	Calcul via l'outil **MesP@rcelles®** et **Systerre®** à partir de la traçabilité
	QMA	
Fuel	Consommation de Fuel	Calcul via l'outil **Systerre®** à partir de la traçabilité éventuellement corrigée à partir des temps de travaux des agriculteurs
Eau	Quantité d'eau	Bilan hydrique modélisé avec **Stics®**. Le modèle sera "forcé" pour simuler au mieux les teneurs en eaux du sol grâce aux mesures d'humidité lors des RSH, RAR et RDD.
Energie	Production	Calcul via l'outil **Systerre®** à partir de la traçabilité
	Consommation	
	Bilan / efficience	
GES	Production	Calcul des émissions totales via l'outil **Systerre®** à partir de la traçabilité

Indicateurs biodiversité

Nom de l'indicateur	Remarque
Ver de terre	1 mesure par an entre fin mars et début mai sur 2 parcelles de chaque système de culture (1 blé et un sol nu). Protocole bèche
Carabes	Piège barber. Faire un piégeage d'une semaine au mois de juillet (période d'activité maximale)
Biomasse microbienne	Mesures tous les 4-5 ans. Mesures possibles à l'Inra de Reims

Indicateurs sociaux

Nom de l'indicateur	Remarque
Temps de travail	Calcul via l'outil **Systerre®** à partir de la traçabilité
Capacité nourricière du système	Calcul via l'outil **Perfalim®** du Cereopa

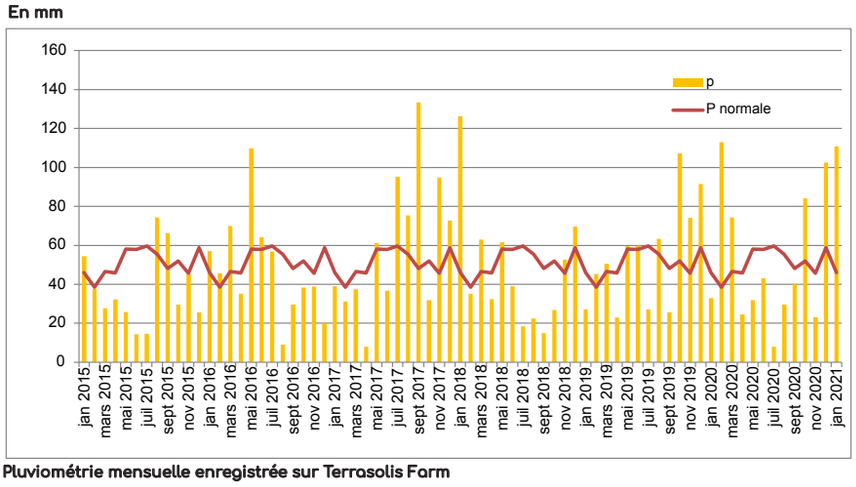
Indicateurs multifonctionnalité

Nom de l'indicateur	Mesure – calcul – modélisation - remarque
Stockage carbone	Mesure du carbone organique du sol
Préservation ressources	Indicateurs environnementaux : pertes azotées (NO3, NH4, N2O), IFT
Biodiversité	Note de biodiversité : Ver de terre, Carabes, biomasse microbienne
Production alimentaire	Mesure des rendements des cultures et qualité
Energie (autonomie)	Quantités azote minérale et fuel utilisées (Systerre)
Energie (production)	Quantité biomasse exportée (mesures au champ)
Production non alimentaire (chaine carbonée renouvelable)	Quantité paille exportée ou culture dédiée (mesure au champ)
Fertilité du sol	Test Bèche (tassement, porosité), Phosphore (disponible et total), C organique, C microbien (critères environnementaux et biodiversité)
Lutte contre changement climatique	Production GES et stock carbone (voir critères environnementaux)

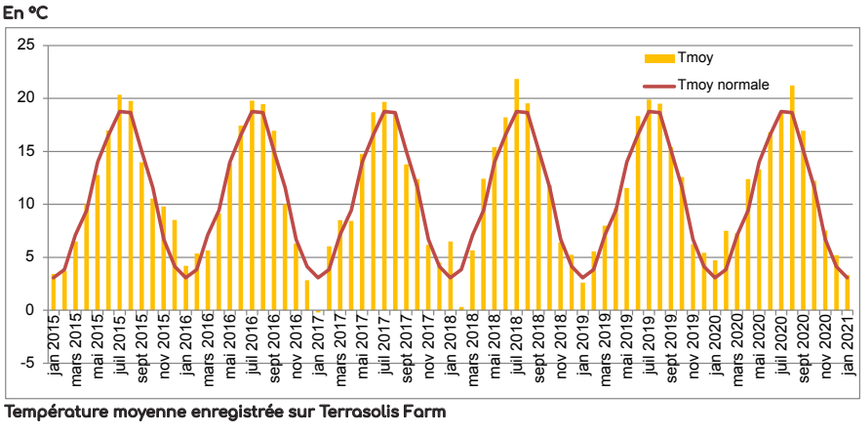
Résultats

Caractéristiques des 3 premières campagnes

Les températures moyennes mensuelles et la pluviométrie mensuelle sont illustrées par les 2 graphiques suivants.



Pluviométrie mensuelle enregistrée sur Terrasolis Farm



Température moyenne enregistrée sur Terrasolis Farm

2017 :

Les conditions météo durant la campagne 2017 ont été particulières. Avec un hiver et un printemps très secs, peu de précipitations ont été relevées. Les blés précoces ont reçu 370 mm alors que les plus tardifs ont reçu seulement 308 mm. Les orges de printemps n'ont reçu quant à eux que 180mm. De fortes chaleurs, supérieures à 25°C sont apparues fin mai (5 jours) puis fin juin (10 jours) durant le remplissage du grain. Cette année sèche a provoqué une moisson précoce avec une récolte, pour les essais, terminée le 18 juillet. Céréales : le rendement des céréales est mauvais sur Terralab (69 quintaux en blé et 49 quintaux en orge de printemps) comme dans les alentours (rendement de référence parcelles proches Terralab : 70 quintaux en blé, 54 quintaux en orge de printemps). La date d'implantation a joué un rôle primordial, notamment sur les blés de betteraves semés tardivement (25 novembre), qui ont souffert du manque d'eau. Le salissement des parcelles est correct avec parfois quelques ronds de graminées (essentiellement vulpin) à surveiller. Le bilan sanitaire est bon avec très peu de pression septoriose et avec l'économie d'un traitement fongique (2 passages au lieu de 3 initialement prévus). Colza : problème de gestion des lapins (partie nord ravagée). Rendement 33 quintaux . Pois : le rendement de pois reste correct (44 quintaux/hectare). Très peu de problème sanitaire hormis quelques pucerons en fin de cycle. Betteraves : elles profitent d'une très bonne fin de cycle et présentent in fine un rendement de 105 tonnes.

2018 :

L'hiver est très pluvieux et permet la reconstitution complète des réserves en eau du sol. L'été est très sec, de juin à septembre seuls 60 mm tombent mais sont peu voire pas efficaces. Les températures sont plus chaudes que la normale sur presque toute la campagne. En juin, 16 jours sont échaudant (T°>25°C). Dans ces conditions, ce sont les betteraves les plus pénalisées car elles souffrent du manque d'eau sur toute la fin de leur cycle, les blés sont pourvus de 550 mm d'eau. Les épis sont à 1 cm le 26 mars et la récolte débute le 10 juillet. Les rendements moyens sont les suivants : blé 80 quintaux , orge hiver 80 quintaux , orge printemps 73 quintaux, luzerne 10 tonnes, colza 34 quintaux et betterave 81 tonnes.

2019 :

Les pluies sont mal réparties dans l'année : très faibles du 1er août 2018 au 1er novembre 2018 (48 mm), assez fortes du 1er novembre 2018 au 20 juin 2019 (407 mm, les réserves du sol ne sont pas totalement reconstituées) et très faibles du 20 juin au 22 septembre (90mm). Les Colza sont semés dans la poussière (mauvaise levée, hétérogène et étalée) ; ils subissent des attaques de charançons et peineront toute l'année. Les blés sont semés dans le sec mais lèvent bien grâce aux pluies survenues 2-3 semaines après. Les cultures de printemps sont semées dans de bonnes conditions. Avril-mai-juin sont secs et les céréales sont sans maladie. 2 canicules surviennent : 25-27 juin (remplissage du grain : fin orge d'hiver, milieu blé, début orge de printemps) et 23-26 juillet où les betteraves souffrent beaucoup et ne s'en remettront pas. De plus, des teignes difficiles à maitriser permettent la présence de la maladie rhizopus. La luzerne souffre mais dans une moindre mesure. Les rendements moyens sont les suivants : blé 87 quintaux, orge hiver 74 quintaux , orge printemps 78 quintaux, luzerne 9 tonnes, colza 29 quintaux et betterave 72 tonnes. Cette année se caractérise enfin par une très forte prédation des ravageurs (rongeurs, pigeons, corbeaux). Notre parcelle de tournesol et notre parcelle de pois sont attaquées dès le semis et pendant le mois précédent la récolte. Les rendements sont catastrophiques (pois 3 quintaux, tournesol 10 quintaux).

2020 :

Les pluies sont mal réparties sur la campagne.
La sécheresse de fin août à fin septembre laisse les semis des colzas dans le sec. Aussi les levées sont hétérogènes et visibles jusqu'en mars. Ensuite, nous avons beaucoup de pluie de fin septembre à fin octobre ; les semis des orges d'hiver et des blés doivent être décalés à fin octobre mais la levée est bonne notamment par de bonnes températures en octobre et début novembre. On notera la présence de pucerons sur orge d'hiver qui provoquent de la jaunisse dans une seule parcelle.
Puis, beaucoup de pluie « hivernale » s'abattent sur la zone : 500 mm de octobre à mi mars (690mm de aout 19 à juillet 20). Dans nos sols de craie, il n'y a pas d'asphyxie mais les semis des orges de printemps doivent être retardés vers le 25 mars et au début avril pour les betteraves. Dans le même temps, l'hiver très doux occasionnent des stades épi 1cm du blé en avance de 10 jours (15-20 mars).
Enfin, de mi-mars à août une forte sécheresse couplée à de fortes températures (20 jours échaudants) sévie avec environ seulement 25 mm d'eau par mois. Durant cette période, on constate peu de maladie dans les céréales mais énormément de pucerons notamment dans les betteraves qui provoqueront une jaunisse très impactante accentuée par la sécheresse longue.
Les quelques pluies d'avril-mai ont permis le remplissage du grain des blés et des orges d'hiver mais n'ont pas suffi à la bonne implantation des orges de printemps ni au bon développement des cultures tardives de printemps (betterave, tournesol, chanvre). Les rendements moyens sont les suivants : blé 85 quintaux, orge hiver 86 quintaux, orge printemps 54 quintaux, luzerne 8 tonnes, colza 14 quintaux et betterave 50 tonnes. Cette année se caractérise enfin par une très forte prédation des ravageurs (pigeons, corbeaux). Notre parcelle de tournesol est attaquée dès le semis (mais s'en remet avec 3-4 semaines de retard) et pendant le mois précédent la récolte. Le rendement est catastrophique avec 9q/ha.

Résultats des leviers techniques innovants annuels des systèmes de culture

Système de culture 2 : Techniques culturales simplifiées et couverts annuels

Semis de betterave au striptill :
Cette technique est employée en 2016, 2017 et 2018. Les résultats sont très satisfaisants et les rendements sont même légèrement supérieurs à la technique conventionnelle (PV16 : 115 tonnes en 2016, 120 tonnes en 2017 et 78 tonnes en 2018 contre 108, 110 et 75 tonnes en conduite classique)

Semis de colza associé au couvert de lentilles :
Cette technique est mise en place en 2016, 2018 et 2019. Elle donne de bons résultats avec une bonne implantation des 2 cultures. Elle permet notamment la dissuasion des pigeons lors du début du cycle du colza. Par contre, les biomasses de lentilles produites restent assez faibles (au mieux 0.5t de matière sèche/ hectare) et un couvert de féverole de printemps pourrait donner de meilleures biomasses. En 2020, nous avons semé de la féverole comme culture associée. Cette plante produit une biomasse plus importante que la lentille mais est difficile à détruire par le gel (fin janvier 2021, la féverole est toujours bien portante malgré une journée à -6°C le 30 novembre et quelques gelées en décembre).

Système de culture 3 : Couvert permanent

Semis de colza associé au couvert de trèfle blanc nain

Cette technique s'est produite complètement en été 2016 et revient en été 2019 (rotation). La première année, le trèfle était peu présent sous le colza mais a « explosé » après sa moisson, par contre en 2019, à la récolte du colza le couvert de trèfle avait disparu.
En 2016, la répartition du trèfle était hétérogène et a été compensée par les repousses de colza. De plus, cette technique nécessite l'emploi de glyphosate (dans notre cas 3L/ha en 2018), au semis du blé, pour lui laisser sa chance car il est semé dans un couvert dense. Globalement, c'est une technique que nous allons abandonner, car les étés sont de plus en plus sec et donc très défavorables à l'implantation du trèfle en aout et qui ne donne pas le couvert pérenne souhaité.

Semis de blé dans un trèfle blanc et repousse de colza

Cette technique apparait en automne 2017. Elle n'offre pas de contrainte particulière. Elle nécessite l'emploi de glyphosate (dans notre cas 3L/ha en 2018) pour laisser sa chance au blé qui est semé dans ce couvert dense.

Semis luzerne sous couvert d'orge de printemps

Les 2 premières années, cette technique ne s'est pas révélée satisfaisante pour 2 raisons principales. La première, le semis de luzerne est effectué à 3 feuilles de l'orge pour laisser le temps de désherber l'orge avant (réglementation) mais ce semis est trop tardif et la luzerne est vite étouffée par l'orge (luzerne hétérogène, resemis de printemps nécessaire). La deuxième, à la moisson de l'orge, malgré l'éparpillage des pailles, un andain se forme dernière la moissonneuse-batteuse et la luzerne peine à pénétrer ce mulch. Les deux années suivantes, pour supprimer ces phénomènes, la luzerne est semée après la moisson de l'orge mais la date tardive de semis (1 mois plus tard que la normale après orge d'hiver) occasionne des hétérogénéités de levée accentuées par les étés secs. En première année, ces luzernes n'ont produit que 2.5 à 6t de MS alors qu'on attend entre 8 et 10 tonnes.

Semis de blé sous couvert luzerne

Cette technique ne pose pas difficulté particulière en termes d'implantation. La question qui se pose est de savoir comment réguler les repousses de luzerne pour qu'il en reste suffisamment pour servir de couvert permanent mais pas trop pour ne pas pénaliser le rendement du blé. Les 2 premières campagnes la régulation est effectuée avec 20 et 30g d'Allié par hectare. Lors de la moisson, 5 à 10 brins de luzerne par m² sont à la même hauteur que le blé. La fauche doit donc être effectuée à une vitesse un peu plus faible et en condition bien sèche pour pouvoir avaler cette luzerne avec le blé.

Semis blé après blé sous couvert luzerne

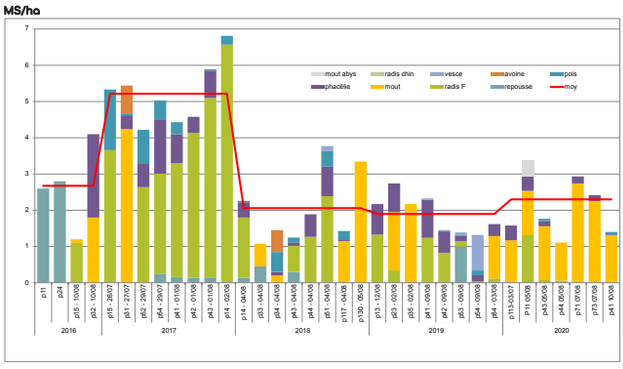
Cette situation survient pour la première fois dans notre système en 2018-2019. La luzerne qui a survécu au premier blé, en mélange avec de la moutarde devient une interculture courte très correcte à l'automne 2018 (0.5t de MS pour la luzerne et 0.6 t de MS pour la moutarde). La luzerne n'a pas été régulée dans le deuxième blé et quelques pieds par m² sont visibles à la récolte mais ne présentent pas de difficulté particulière.

Système de culture 4 : Biomasse exportée maxi

Obtenir des couverts d'intercultures à forte biomasse proche de 4 tonnes de matière sèche

Pour maintenir des taux de matière organique stable dans le système de culture 4 fortement exportateur de biomasse, la modélisation avec l'outil AMG-Simeos, a montré qu'il fallait obtenir environ 4t de MS pour les couverts d'interculture pour maintenir voire augmenter le taux de carbone du sol. En moyenne, sur les 5 premières intercultures, la biomasse produite est de 2.8 t de MS/ha avec des extrêmes à 2 et 5 t de MS. Ceci s'explique par des étés très secs et très chauds en 2018, 2019 et 2020. Le mélange de base de la ferme était 3kg/ha de radis, 3 kg/ha de phacélie et 70 kg/ha de pois.

Mais ce mélange évolue. D'une part le pois sera remplacé par de la vesce velue qui produit souvent une biomasse plus importante. Le radis fourrager est remplacé ou complété par du radis chinois qui développe une belle racine pivotante qui casse facilement avec le rouleau Faka (donc facilite sa destruction). Enfin, on ajoutera une base de moutarde blanche (1kg/ha) car c'est la plante assurantielle qui assure une bonne reprise de végétation et une bonne biomasse après un été sec et quand les pluies reprennent tardivement fin septembre ou début octobre.



Biomasse Cipan

Système de culture 5 :
Autonomie azotée

Orge de printemps dernière luzerne

Cette situation arrive pour la première fois en 2019.
La luzerne n'est pas retournée en octobre 2018 et est conservée jusqu'au 25 février pour limiter le lessivage des nitrates. Le semis de l'orge de printemps (RGT Planet) est effectué le 26/02. La dose d'azote conseillée est de 140uN, mais nous décidons de n'apporter que 120 uN (-30uN par rapport aux autres orges de printemps) du fait de l'arrière effet supposé fort de la luzerne. Les résultats sont très bons avec un rendement de 86q, 10.3 points de protéines et un calibrage de 93%. À noter que la forte présence de repousses de luzerne dans l'orge, pourtant régulée avec 20g Allié/ha début avril (prévoir d'augmenter la dose à 30g/ha), a rendu la récolte délicate sans toutefois la compromettre.

Introduction de chanvre

Cette pratique montre de bons résultats sur les 3 premières années de mise en place. Aucun produit phytosanitaire n'est appliqué et les quantités d'azote appliquées sont faibles (60 uN/ha). Les rendements en grain et en paille sont très corrects (en moyenne 1.15t/ha de chènevis et 8t/ha de pailles). Aujourd'hui, des incertitudes planent sur le prix du chènevis tandis que ceux de la paille restent stables. Cette pratique occasionne des temps de travaux plus importants (7 à 8 heures par ha) et un équipement spécifique (presse, faneuse, faucheuse, moissonneuse)

Rendement de colza par tournesol

Sur le plan des économies d'azote et de produits phytosanitaires, cette pratique est satisfaisante mais les rendements sont moins assurés que pour le colza (30q en 2018 contre 36q ; 10q en 2019 contre 29q) et cette culture est sujette à une très forte prédation par les oiseaux (pigeons et corbeaux). Elle nécessite aussi un équipement spécifique de la moissonneuse. Aujourd'hui, le résultat économique n'est pas satisfaisant (260€ en 2018 ; -500€ en 2019 et -460 en 2020 de marge semi-nette). Néanmoins, la culture du colza est de plus en plus souvent pénalisée et les rendements 2019 et 2020 n'ont pas été bons ; cela laissera peut être sa place au tournesol.

La technique de semis du tournesol : sous couvert de céréales

Pour limiter les attaques de pigeons après le semis, le tournesol est semé sous couvert de céréales. La première année en 2018, sous couvert d'orge de printemps, l'effet dissuasif a été très bon. Par contre, en 2019 et 2020, la couverture n'a eu aucun succès et la prédation des oiseaux à la levée est trop forte. Malgré plus de 90% des pieds sectionnés, 40% restaient viables mais reprenaient leur croissance avec un retard de 3-4 semaines provoquant une récolte trop tardive vers la fin septembre (alors que les conditions météo commencent à se dégrader rendant la récolte plus délicate).
En fait, le semis du tournesol effectué au Strip-Till (travail du sol sur le rang de semis) détruisait le couvert de céréale sur une quinzaine de centimètre de largeur n'offrant plus de protection. Pour résoudre ce point faible, nous avons fait fabriquer un Strip-Till avec une dent très fine qui détruira beaucoup moins le couvert. Une autre solution pourra être un labour de printemps pour le semis de la céréale suivi uniquement d'un semis direct du tournesol. En complément, le semis doit être réalisé sur sol réchauffé (8°C) pour une levée rapide et à 5 cm de profondeur pour protéger la graine.

Nouvelle méthode de fertilisation du blé avec suivi de l'INN

Grâce à la pince N-tester, une valeur d'INN (Indice de Nutrition Azoté) est calculée à certains stades clés du blé. Des abaques de doses à apporter ont été construits. L'apport d'azote est déclenché si et seulement si la trajectoire de l'INN est susceptible de passer sous une courbe critique et si les conditions météorologiques sont favorables à l'apport (pluie prévue).

Résultats Terrasolis Farm	2018	2019	2020
	Azote / Rendement/ protéine	Azote / Rendement / protéine	Azote / Rendement / protéine
Bande classique	220 u / 79 q/ha / 11.2	190 u / 95 q/ha / 9.5	190 u / 78 q/ha / 11.7
Bande INN	190 u / 78 q/ha / 11.8	160 u / 102 q/ha / 9.8	160 u / 77 q/ha / 11.3

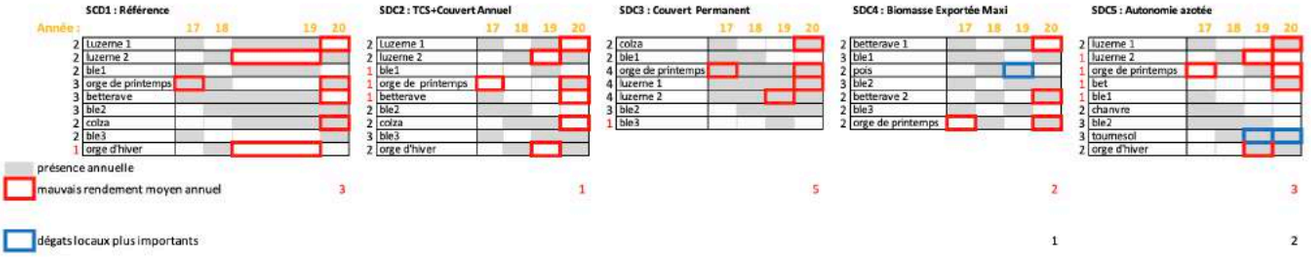
Jusqu'à aujourd'hui, cette méthode a donné des résultats satisfaisants sur Terrasolis Farm. En moyenne, la dose d'azote apportée est réduite de 30 unités, le rendement et le taux de protéine sont équivalents.

Détail des résultats par critère et par système après quatre campagnes

En introduction, précisons qu'il existe quelques déséquilibres dus aux choix initiaux de Terrasolis sur la mise en place des expérimentations de l'axe agronomique :

- Mise en place de 6 systèmes de cultures innovants (dont la plateforme Syppre-Champagne) sur une zone disponible de 90 ha.
- Travail sur des parcelles de taille agricole de 3 hectares en moyenne pour refléter au mieux les conditions de travail des agriculteurs.

Schéma de la présence annuelle des différentes cultures de la rotation



Sur notre surface dédiée, le compromis a été d'avoir la moitié des termes de chaque rotation.Le compromis choisis en 2016 amène 2 déséquilibres dans notre analyse :

- Dans chaque rotation, certaines cultures sont encore peu représentées (voir valeur devant chaque culture de chaque système sur le schéma ci-dessus). Il faudra attendre la fin de la rotation pour avoir une représentativité égale.
- Les mauvais rendements de certaines années (principalement dus au climat) pénalisent les systèmes lorsque les cultures concernées sont présentes (voir cadre rouge sur le schéma ci-dessus). Ce déséquilibre a été supprimé en calculant l'écart annuel (par rapport aux données des mêmes cultures dans la zone à proximité de la ferme) et en réaffectant cet écart à la moyenne pluriannuelle du système de culture.

Enfin, pour terminer cette introduction, notons que certaines cultures sont pénalisées (surtout sur le rendement) par l'environnement direct de la base dans des proportions plus forte qu'ailleurs dans la plaine champenoise. C'est par exemple le cas avec des ravageurs tels que les lapins ou les pigeons mais aussi dans certaines parcelles affectées par l'histoire de la base (ex : forte présence de pierres, briques après démolition de bâtiments).

Le gain de rendement

Le gain de rendement est calculé par rapport au rendement moyen annuel de chaque culture dans la zone proche de la ferme (enquête auprès des voisins).

•Le SDC1 +4%

•Le SDC 2 réalise +8% notamment parce qu'il est positionné sur une zone qui compte parmi les meilleures parcelles de la base et que certaines cultures encore peu représentées ont fait de très bons rendement (ex : betterave 2017 à +15% et Luzerne 1 en 2019 à +50% semis (SD favorable en 2019 Vs labour).

•Le SDC 3 réalise -12%. Ce nouveau système a nécessité un apprentissage du semis direct de la part des agriculteurs ainsi qu'une transition (dont parlent toujours les agriculteurs en agriculture de conservation et qui dure théoriquement 5 ans).

De plus, dans ce système, l'enracinement des orges de printemps est pénalisé par la reprise en masse des sols lors des printemps secs (mesuré au pénétromètre) ainsi que très probablement les luzernes de 1ère année.

Enfin, les blés sont globalement pénalisés par leur nb grain/ m² plus faible et des adventices plus présentes.

•Le SDC 4 réalise -7% : C'est le pois de 2019 qui pénalise fortement le système avec un rendement en baisse de 90% (3q/ha à cause du ravage des pigeons), ainsi que la betterave en 2020 qui a eu beaucoup plus de jaunisse que les autres (malgré des traitements identiques).

•Le SDC 5 réalise -1% :pour ce système, ce sont 2 tournesols sur 3 ravagés par les pigeons en 2019 et 2020 (9q/ha) qui impactent le plus ce système.

SDC1	4%
Luzerne 1	18
luzerne 2	7
blé 1	8
orge de printemps	9
betterave	6
blé 2	0
colza	-3
blé 3	-25
orge d'hiver	15

SDC2	8%
Luzerne 1	37
Luzerne 2	8
blé 1	5
orge de printemps	-2
betterave	15
blé 2	3
colza	1
blé 3	1
orge d'hiver	7

SDC3	-12%
colza	-1
ble1	-11
orge de printemps	-26
luzerne 1	-29
luzerne 2	-1
blé 2	-1
blé 3	-14

SDC4	-7%
betterave 1	1
blé 1	5
pois	-37
blé 2	6
betterave 2	-16
blé 3	-5
orge de printemps	-5

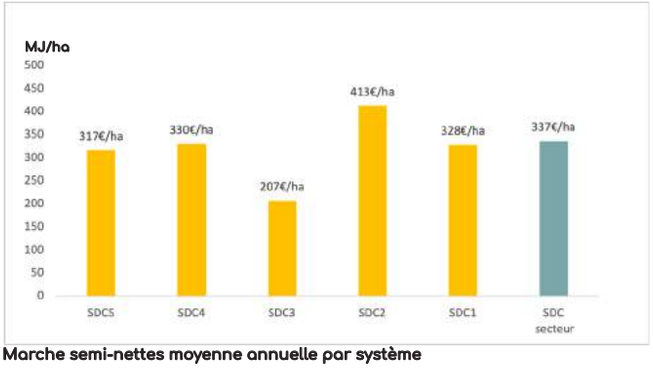
SDC5	-1%
luzerne 1	20
luzerne 2	-12
orge de printemps	10
betterave	-11
blé 1	-7
chanvre	9
blé 2	15
tournesol	-43
orge d'hiver	8

Gain de rendement par culture en pourcentage de rendement moyen du secteur

Les marges semi-nettes

Les marges semi-nettes sont calculées avec les prix réels de chaque année (vente, intrants, aides pac découplées, mécanisation). Elles correspondent au produit moins les charges opérationnelles et les charges de mécanisation.

- Les SDC 1, 4 et 5 font des marges équivalentes à celle du secteur de la ferme (environ 320 €/ha/an)
- Le SDC 2 qui fait +8% de rendement voit sa marge augmenter de 75€/ha
- Le SDC 3 qui fait -12% de rendement voit sa marge diminuer de -130€/ha



Marche semi-nettes moyenne annuelle par système

Les charges opérationnelles sont relativement proches. Le SDC3 est le plus faible de tous car la betterave (+ forte charge op) est absente. Le SDC 5 présente les charges opérationnelles les plus faibles car les produits phytosanitaires et l'azote sont réduits. Les charges de mécanisation sont très différentes. Le SDC3 présente les charges de mécanisation les plus faibles (-150€/ha) car on ne travaille plus le sol ; il n'y a pas de betterave et moins de cipan ; mais cela ne compense pas les pertes de rendement. Le SDC 2 est second car le travail du sol est réduit fortement. Le SDC4 a la plus forte mécanisation car il possède la plus forte proportion de betteraves.

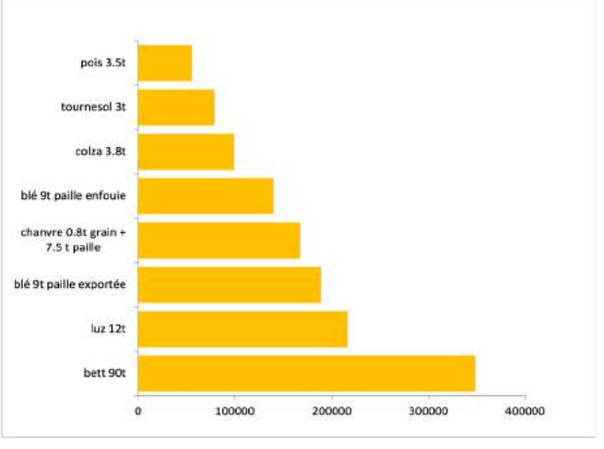
	charges opérationnelles moyenne en €	charges mécaniques moyenne en €
SDC1	470	401
SDC2	441	338
SDC3	435	248
SDC4	473	477
SDC5	429	393

Charges opérationnelles et de mécanisation moyennes annuelles par système

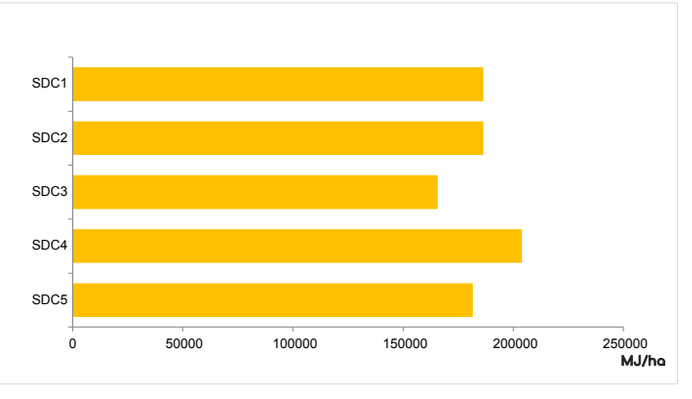
La production d'énergie brute

La production d'énergie brute est calculée par Systerre®. Elle est directement liée à la production et à la nature des biomasses exportées des cultures. Pour des rendements habituels, les écarts sont importants entre cultures (voir graphique ci-dessous).

Aussi, à l'échelle des systèmes de culture, les productions a priori d'énergie seront différentes (voir graphique ci-dessous). Le SDC 1 et 2 ont la même rotation donc sont égaux. Le SDC 3 qui n'a pas de betterave est en retrait. Le SDC 4 qui a une forte proportion de betterave et une proportion de paille de céréales exportée importante est le plus productif. Le SDC 5 est équivalent au SDC1 car un chanvre remplace le blé et un tournesol remplace le colza (qui sont équivalents).

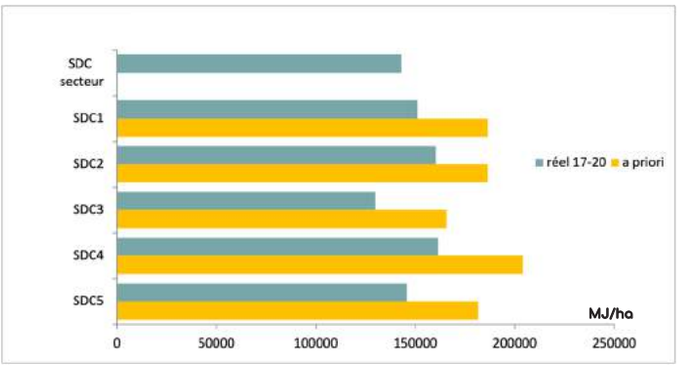


Production d'énergie brute en MJ/ha pour des rendements habituels



Production d'énergie brute pour des 5 systèmes a priori

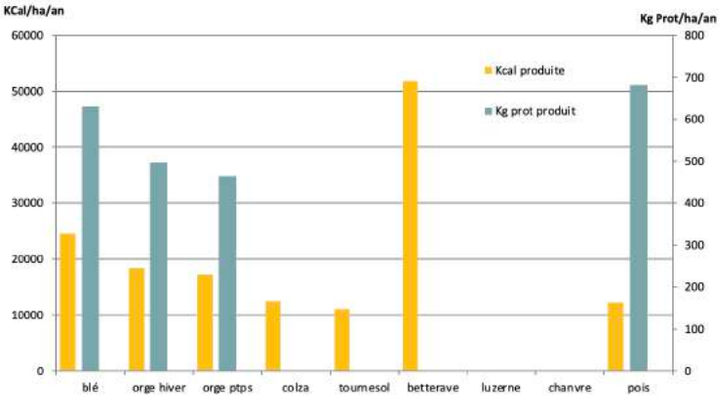
Dans l'ensemble, chaque SDC est moins performant que sa version a priori car les rendements moyens annuels sont plus faibles que nos rendements fixés a priori (Rendement moyen 2017 à 2020 = blé 8t/ha; Orge d'hiver 7,9t/ha; Orge de printemps 6,6 t/ha; colza 3,1 t/ha; luzerne 1 7 t/ha; luzerne 2 11,3 t/ha; tournesol 2,9 t/ha; Pois 3,4 t/ha).
Les écarts de chaque SDC par rapport au SDC moyen de la zone proche de la ferme (SDC secteur) sont bien dus aux écarts de rendements constatés chaque année.



Production d'énergie réelle des systèmes entre 2017 et 2020

La performance alimentaire

Cette performance alimentaire est calculée avec PerfAlim (www.perfalim.com) ; outil développé par le Céréopa qui calcule la capacité à nourrir les hommes en fonction des besoins d'une personne (2500 Kcal/j et 53g prot/j).
Un bémol : Aujourd'hui, la luzerne (alimentation animale) n'a pas de valeur dans l'outil. Le chanvre ou les pailles (non alimentaire) ne comptent pas.



Performance alimentaire humaine

•Sur le plan énergétique :
Les SDC 2 et 4 sont plus performants car le rendement de la betterave est élevé en SDC2 et la proportion de betterave est élevée en SDC 4.
Le SDC 3 est en retrait car les rendements sont bas et la betterave est absente.
Le SDC 5 est en retrait car la luzerne, le tournesol et le chanvre sont en forte proportion.

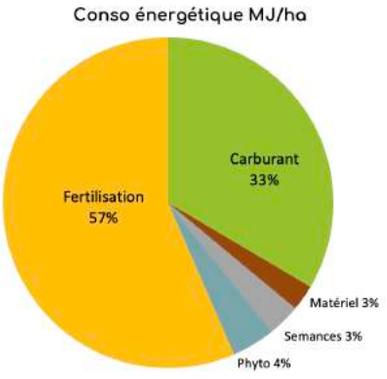
•Sur le plan protéique, les 5 SDC sont proches :
Sur le SDC3, l'absence de betterave compense les mauvais rendements.
Sur le SDC4, la présence de betterave compense l'absence de luzerne.
Sur le SDC5, le chanvre est responsable du faible score.

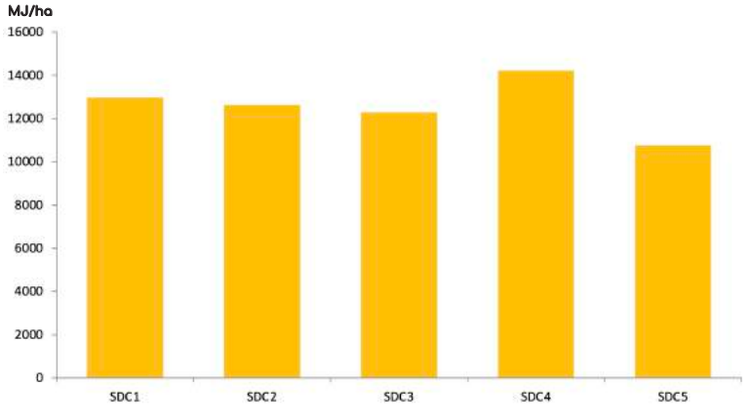
Performance alimentaire	Energie	Protéine
SDC1	9	7
SDC2	10	7
SDC3	7	7
SDC4	10	6
SDC5	6	6

Nombre de personnes nourries sur 1 ha de chaque système (2017 à 2020)

Consommation énergétique

La consommation énergétique primaire totale est fournie par Systerre®. Elle reprend l'énergie du carburant, de production du





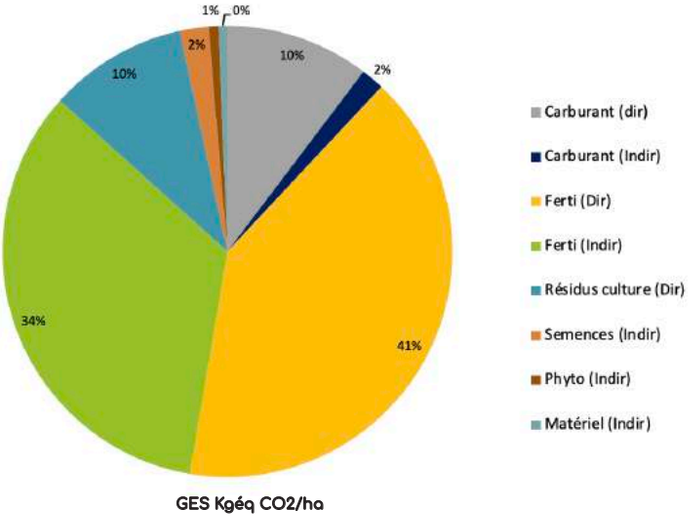
	Azote minéral kgN/ha	FuelL/ha
SDC1	105	103
SDC2	128	82
SDC3	114	70
SDC4	131	105
SDC5	86	96

Consommation d'énergie primaire par système 2017 à 2020 et consommation d'azote et de fuel

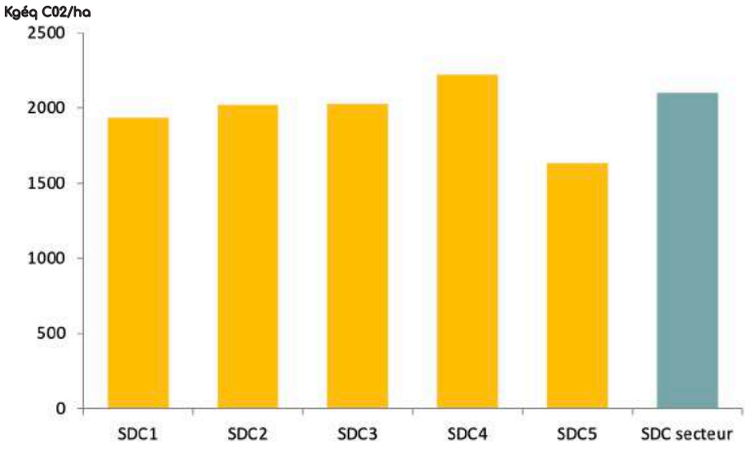
Les SDC 1, 2 et 3 consomment de manière équivalente
SDC2 : Les 20L/ha de fuel de moins sont annulés par les 20 kg/ha d'azote supplémentaire
SDC3 : les 30L/ha de fuel de moins sont pratiquement annulés par les 10 kg/ha d'azote supplémentaire
Le SDC 4 consomme le plus : le travail du sol n'est pas réduit et la fertilisation azotée est majorée par l'absence de luzerne
Le SDC 5 consomme le moins : la faible utilisation d'azote et une consommation de fuel raisonnable permettent ce gain

Émission de gaz à effet de serre (GES)

Les émissions de GES sont calculées par Systerre®. Les facteurs explicatifs sont la fertilisation, le carburant, le matériel, les semences et le retour des résidus de cultures au sol. Le graphique ci-dessous montre les émissions de GES moyennes sur Terrasolis Farm. Comme pour la consommation énergétique, la fertilisation (72%) et le carburant (13%) sont la cause majeure des émissions de GES..



GES Kgéq CO2/ha



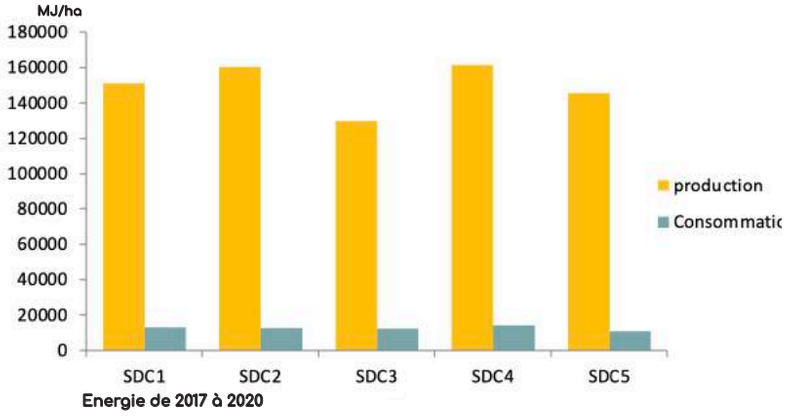
	Azote minéral kgN/ha	FuelL/ha
SDC1	105	103
SDC2	128	82
SDC3	114	70
SDC4	131	105
SDC5	86	96

Émissions moyennes annuelles de GES par système de 2017 à 2020 et consommation azote et fuel

Les SDC 1, 2 et 3 émettent de manière équivalente
SDC2 et 3 : les émissions sont largement pénalisées par l'utilisation supplémentaire d'azote qui n'est pas compensé par la réduction des carburants
Le SDC 4 émet le plus (+5%). Le travail du sol n'est pas réduit et la fertilisation azotée est majorée par l'absence de luzerne
Le SDC 5 émet le moins (-22%). La faible utilisation d'azote et une consommation de fuel raisonnable permettent ce gain

Efficience énergétique

L'efficience énergétique est le rapport entre l'énergie consommée et l'énergie produite. Autrement dit, il s'agit de la quantité d'énergie produite par unité d'énergie consommée.



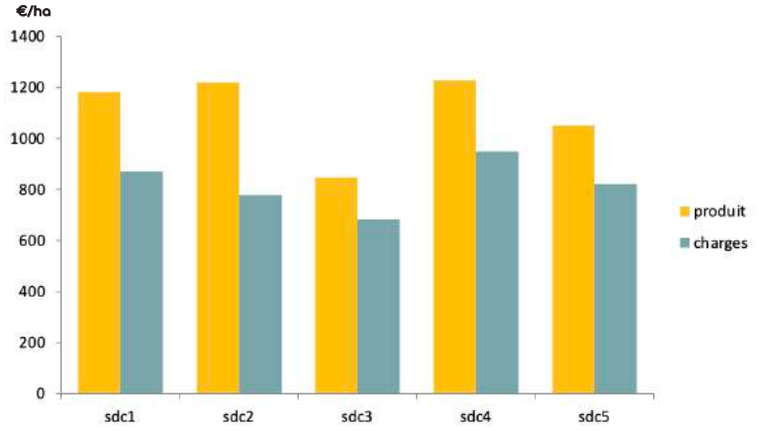
Energie de 2017 à 2020

	efficience énergétique
SDC1	12
SDC2	13
SDC3	11
SDC4	11
SDC5	14

Le SDC 5 : propose la meilleure efficience énergétique, il consomme moins que les autres et produit de façon importante (sans être le meilleur)
Le SDC 2 : l'efficience est bonne, ces bons rendements actuels font que sa production énergétique est la meilleure d'où sa bonne efficience
Le SDC 3 : sa consommation est dans la moyenne mais sa production est faible d'où sa moins bonne efficience
Le SDC 4 : il consomme beaucoup plus mais produit beaucoup plus aussi, son efficience reste toutefois en retrait

Efficience économique

L'efficience économique est le rapport entre le produit et les charges (opérationnelles et mécanisation). Autrement dit, il s'agit du retour financier par euro engagé.



Produit et charges moyenne annuelle

	Efficience
sdc1	1,36
sdc2	1,57
sdc3	1,24
sdc4	1,29
sdc5	1,28

L'efficience du SDC2 est la meilleure car ses charges se sont contenues et son produit est bon grâce au meilleur rendement. Tous les autres systèmes sont relativement proches car même si certains ont moins de charges ils ont aussi aujourd'hui moins de produits.

Qualité des productions

La qualité technologique concerne les céréales et la betterave.
Blé : note positive si protéine > 11,5
Orge brassicole : note positive si 9,5 < protéine < 11,5
Betterave : note positive si richesse > 16
Globalement, quel que soit le SDC, la note technologique est positive sur les 4 campagnes.

	Note technologique
SDC1	0,5
SDC2	0,1
SDC3	0,0
SDC4	0,4
SDC5	0,1

Note technologique : Nombre de points supplémentaires par rapport au seuil de qualité de chaque culture. (exemple : un blé à 12% de protéines par rapport au seuil de 11,5 obtient une note de +0,5)

Temps de travail

Le temps de travail moyen est différent en fonction des cultures (partie gauche du tableau ci-dessous). Aussi, le temps passé dans chaque SDC est différent puisqu'il dépend beaucoup des cultures présentes (partie centrale du tableau). La représentativité de chaque culture n'est pas encore homogène mais néanmoins des tendances se dégagent :

- SDC 3 : le temps de travail y est le plus faible (-1,5 heures/ha). 30min/ha sont gagnées par le type de culture en place (pas de betterave) et 1 heures/ha par la réduction du travail du sol.
- SDC 2 : gain de ¾ d'heure par hectare par la réduction du travail du sol.
- SDC 4 : il est consacré 1 heures/ha de plus car le système comporte plus de betterave et pas de luzerne
- SDC 5 : le temps consacré est équivalent au système de référence

Nombre d'heures par culture	
Chanvre	7,5
Betterave	6,6
Tournesol	5,2
Orge de printemps	4,3
Pois	4,2
Colza	4,1
Blé	3,7
Orge d'hiver	3,4
Luzerne 1	1,6
Luzerne 2	0,3

Nombre d'heures théoriques	
	Heures/ha
sdc1	3,5
sdc2	3,5
sdc3	3,0
sdc4	4,7
sdc5	4,0

Nombre d'heures réalisées 17-20	
	Heures/ha
sdc1	4,0
sdc2	3,2
sdc3	2,5
sdc4	5,1
sdc5	3,9

Indice de fréquence de traitement (IFT)

L'IFT est directement repris de notre outil de traçabilité MesP@rcelles.
L'indicateur utilisé est le pourcentage de réduction (ou d'augmentation) par rapport à l'IFT moyen de la champagne crayeuse (références champardennaises issues des données du ministère).

	IFT réf
colza	6,7
blé	5,6
betterave	5,1
pois	4,6
orge d'hiver	4,1
orge de printemps	4,1
luzerne 1	3,3
tournesol	2,6
luzerne 2	1,2
chanvre	0

	IFT moyen	% IFT réf
sdc1	2,8	-39
sdc2	3,1	-34
sdc3	3,6	-19
sdc4	3,7	-23
sdc5	2,7	-40

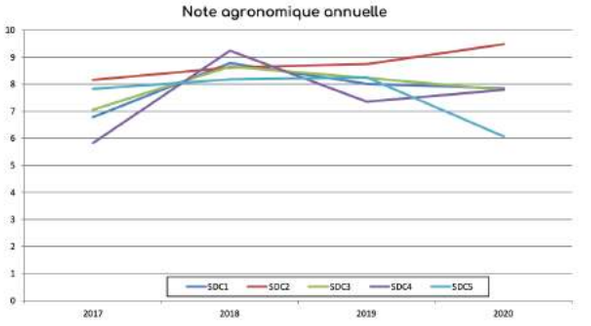
L'IFT de chaque SDC dépend beaucoup des cultures présentes ; de plus la représentativité de chaque culture n'est pas encore homogène.
Globalement, notre conduite sur la ferme est peu consommatrice de produits phytosanitaires :

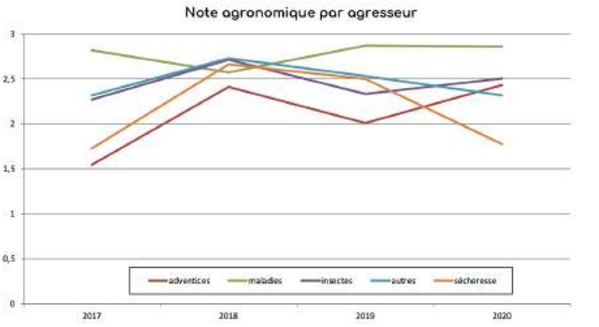
- Le SDC3 est celui qui a le moins réduit l'IFT à cause de la présence plus forte d'adventices et la nécessité de réguler le couvert/les repousses/les adventices lors du semis des cultures en semis direct. Il est toutefois amélioré par la forte proportion de luzerne dans le système.
- Le SDC5 est le plus performant car il est notamment composé de cultures peu consommatrices.

Note agronomique

À chaque fin de campagne, un bilan agronomique est réalisé et note la pression des agresseurs : les insectes, les maladies, les adventices, les autres ravageurs (pigeons, lapins, corbeaux) et le climat (sécheresse). Pour chaque type d'agresseurs, la note est comprise entre 0 et 3. Une note globale est donnée sur 10. Quand aucun problème n'est signalé, la note est de 10. Plus la note est proche de 0, plus les ravageurs ont atteint/détruit la culture.

	maitrise agresseur	gain rdt
sdc1	7,9	4
sdc2	8,8	8
sdc3	7,8	-12
sdc4	7,4	-7
sdc5	7,6	-1

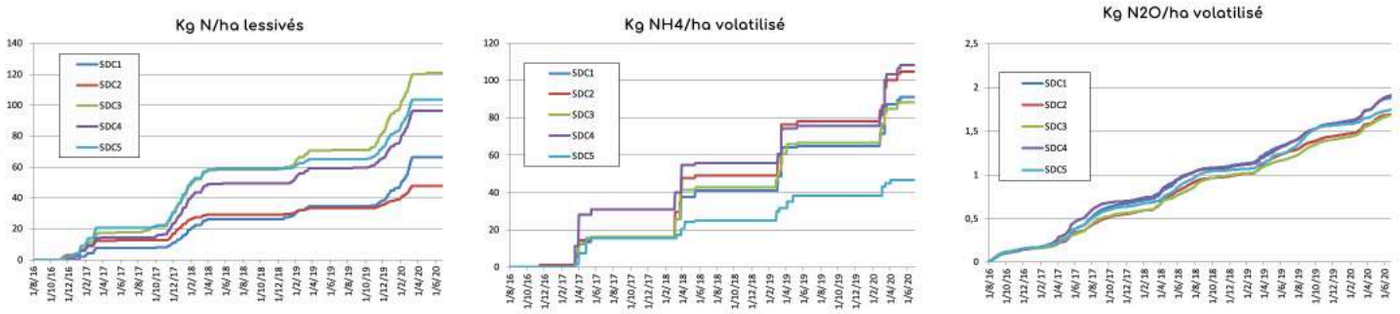




La note agronomique reflète assez bien les rendements obtenus dans chaque système. À partir d'une note de 8, on peut estimer que le système a été relativement épargné. On ne constate pas de dégradation de la note d'année en année. Les adventices et la sécheresse sont les plus préoccupantes pour le moment.

Pertes azotées

Les pertes azotées sont calculées par simulations à l'aide du modèle STICS®. Les mesures des biomasses (cultures principales et couvert) et de leur teneur en azote, les reliquats azotés (sortie hiver, après récolte et début drainage) et les teneurs en eau (lors des reliquats) nous permettent d'optimiser le modèle afin de simuler au mieux les pertes azotées (lessivage du nitrate, volatilisation du N2O et du NH4)



Simulation 2017 à 2020 des pertes azotés moyennes par SDC par lessivage et volatilisation

	NO3	*N2O*	*NH4*	*Gain rendement*	*Dose N*
SDC1	*18*	*0,49*	*24*	*4*	*105*
SDC2	*13*	*0,40*	*25*	*14*	*128*
SDC3	*26*	*0,44*	*27*	*-7*	*114*
SDC4	*20*	*0,47*	*25*	*-12*	*131*
SDC5	*21*	*0,42*	*13*	*-1*	*86*

Quantité d'azote perdue (kg/ha) moyenne par système 2017 à 2020

Au niveau des pertes par lessivage, le SDC réalisant les meilleurs rendements a le moins de perte et inversement.
La volatilisation du N2O est sensiblement équivalente dans chaque SDC.
La volatilisation du NH4 est bien inférieure pour le SDC4 qui utilise uniquement des engrais azotés solides moins sensibles à la volatilisation.

Bilan hydrique

Les bilans hydriques sont calculés avec le modèle STICS®.
Les chiffres présentés correspondent à l'évaporation + la transpiration annuelle sur l'ensemble du cycle de l'interculture et de la culture suivante.

	ETP moy
cipan + bett	510
Ci+chanv	500
cipan + tour	480
luz2	470
Luz1	380
Colza	380
Cipan +op	360
cipan + pois	350
blé	340
oh	310

	ETP mm
sdc1	388
sdc2	394
sdc3	279
sdc4	388
sdc5	388

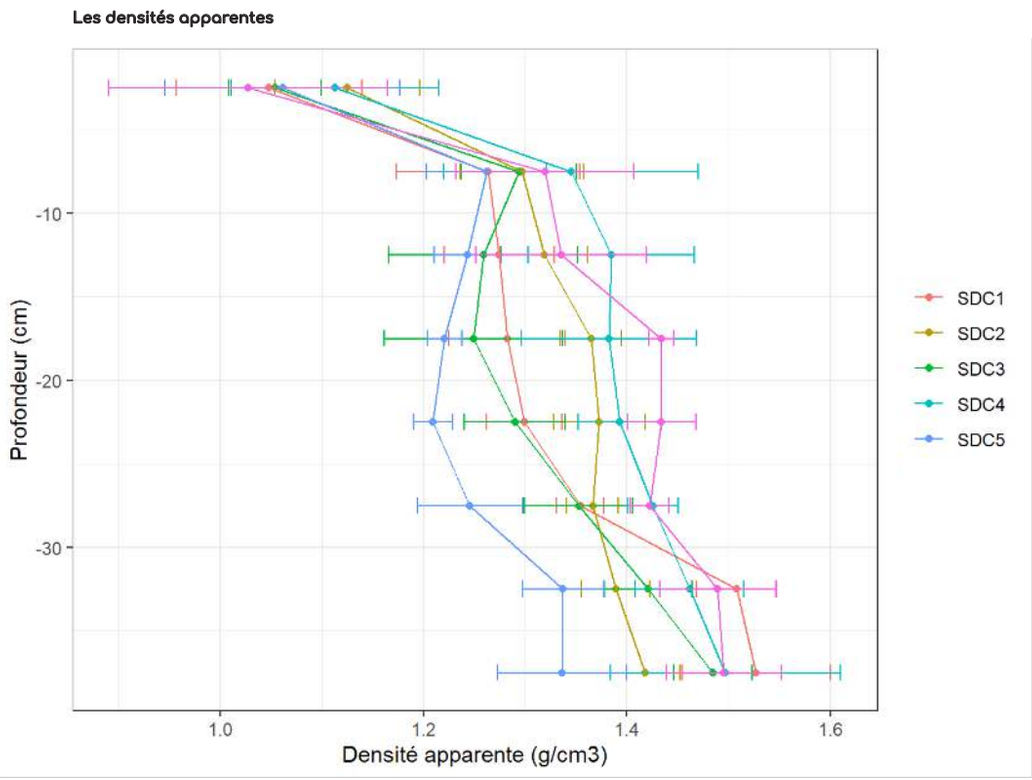
ETP moyenne par culture et par système de 2017 à 2020

SDC 1, 2, 4 et 5 : l'ETP moyenne annuelle est équivalente.
SDC 3 : l'ETP est plus faible car les rendements sont plus faibles et qu'il n'y a pas de betterave.

Stock de carbone

Les stocks de carbone ont été réalisés en octobre 2016 (état initial), en collaboration avec l'INRA de Laon et Mons, sur 2 zones de chaque parcelle et dans 3 parcelles par système. Les stocks sont mesurés sur 60 cm de profondeur avec une discrétisation en 4 horizons (0-10cm ; 10-20 cm ; 20-40 cm ; 40-60 cm). Une deuxième campagne de mesure a été effectuée en décembre 2020 sur les mêmes parcelles mais avec uniquement 2 zones par parcelle. A chaque prélèvement, la densité apparente du sol est mesurée tous les 5 cm avec une sonde Gama. Les prélèvements de terre sont effectués par carottage avec l'Humax.

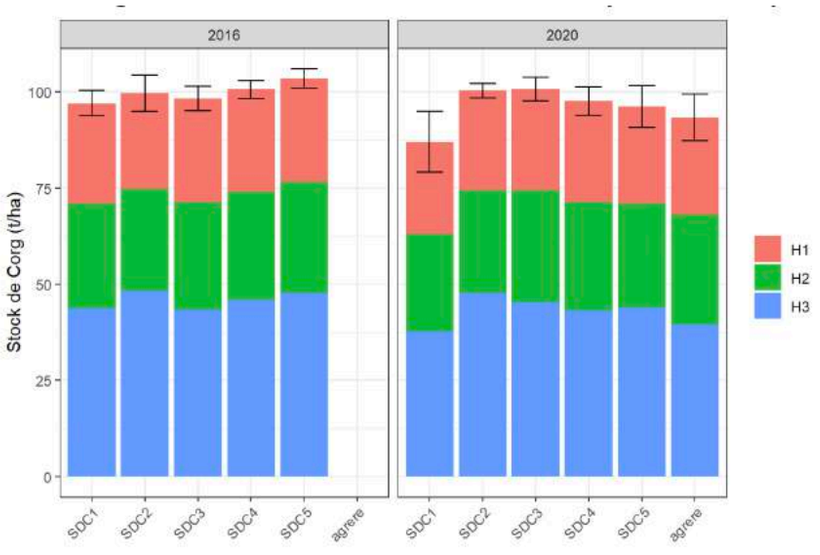
Une première analyse des résultats a été réalisée par Fabien Ferchaud de l'INRAE en mars 2021..



Les densités apparentes augmentent avec la profondeur. On constate un effet significatif des systèmes entre 15 et 35 cm.

Les stocks de carbone à masse équivalente

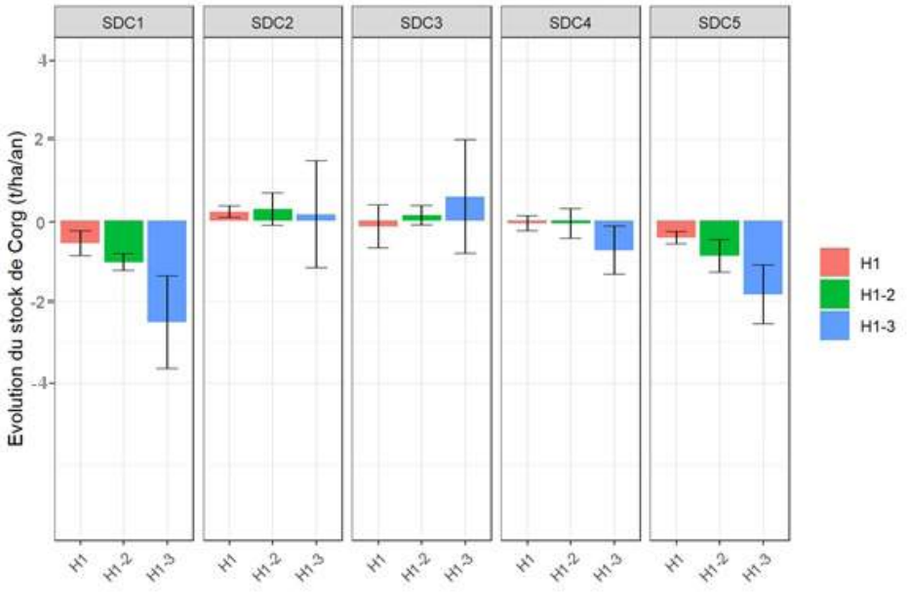
Les stocks sont calculés à masse équivalente par site de prélèvement (2 sites par parcelle), puis moyennés par parcelle et/ou par système Les calculs sont réalisés avec SimpleESM. Ces stocks sont calculés pour 4 masses de sol. Les masses de sol de référence à la moyenne des densités apparentes mesurées en 2016 : H1 (≈ 0-10 cm) : 1183 t de sol ha-1 / H1-2 (≈ 0-20 cm) : 2445 t de sol ha-1 / H1-3 (≈ 0-40 cm) : 5016 t de sol ha-1 / H1-4 (≈ 0-60 cm) : 7816 t de sol ha-1



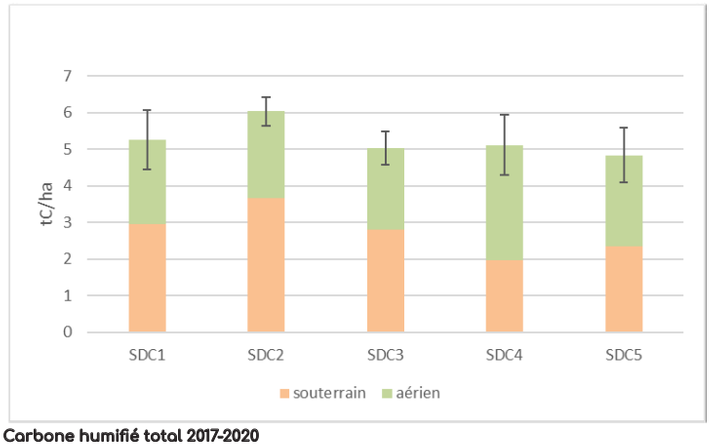
Les stocks sur L1-3 (environ 0-40 cm) varient en 2016 entre 97 et 103 t C ha-1 selon les systèmes (pas de différence significative). En 2020 on ne constate pas de différence significative mais on note une variabilité des mesures plus grande qu'en 2016 et des stocks plus faibles pour le SDC1.

Variation de stock entre 2016 et 2020 et entrées de carbone

Pour tenter d'expliquer les résultats obtenus, les quantités de carbone entrantes entre les 2 dates de mesures ont été mesurées (prélèvements de biomasse). Ces entrées sont constituées des couverts en interculture (cipan, repousse), des résidus de récoltes restitués (pailles, feuilles, collets, tiges), une estimation des restitutions racinaires et des apports de matières organiques exogènes. Ce sont les cipans 2016 (qui étaient encore en place lors du 1er prélèvement) qui constituent le premier apport de carbone de cette période. Le dernier est constitué des résidus de culture de 2020 et pas des cipans 2020 car elles étaient encore en place lors de la deuxième mesure.



Les évolutions varient entre -1 et +0.3 t C/ha/an sur environ 0-20 cm (H1-2) et entre -2.5 et +0.6 t C/ha/an sur environ 0-40 cm (H1-3). On note une forte variabilité des évolutions principalement sur 20-40 cm. La diminution du stock est significative pour le SDC1 et une augmentation significative pour le SDC2 et le SDC3.



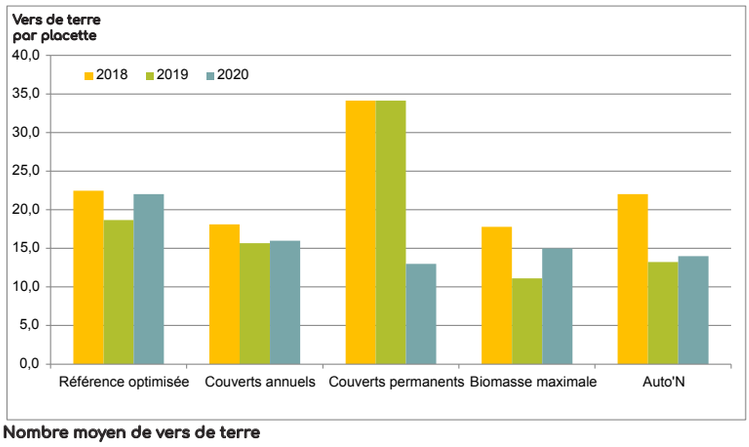
Carbone humifié total 2017-2020

Nos mesures de carbone entrant permettent d'estimer les quantités de carbone humifié grâce aux paramètres utilisés dans Simeos AMG®. Les entrées de carbone humifié varient de 1.2 à 1.5 t C/ha/an en moyenne selon les systèmes. On constate globalement une corrélation entre la quantité de carbone humifié et l'évolution du stock. Néanmoins, il ne s'agit que d'une deuxième mesure qui ne nous permet pas de valider la tendance du stockage à plus long terme sur nos systèmes.

Biodiversité (vers de terre et carabes)

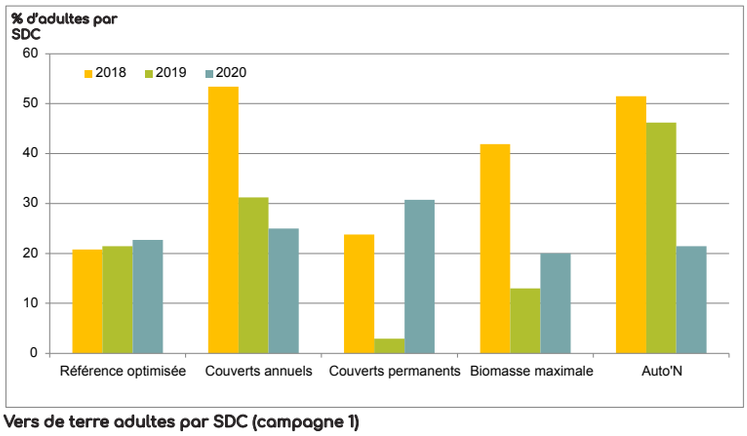
Vers de terre

Depuis 2018, les vers de terre sont quantifiés par prélèvement de 3 blocs de terre (40x40x30cm) dans 3 parcelles par système. Les mesures sont généralement réalisées à 2 dates (fin mars et mi avril). Les mesures de fin mars donnent toujours de meilleurs résultats qu'en avril car d'une façon générale, un temps sec se met en place en avril et les vers de terre (anécique) migrent en profondeur pour fuir le sec. Seuls les résultats de fin mars sont présentés.



Nombre moyen de vers de terre

Globalement, le nombre de ver moyen par placette est constant d'année en année. On note juste une forte baisse en 2020 dans le SDC3. Lors des comptages, les adultes et juvéniles sont séparés ainsi que leurs types (anéciques, endogés, épigés).

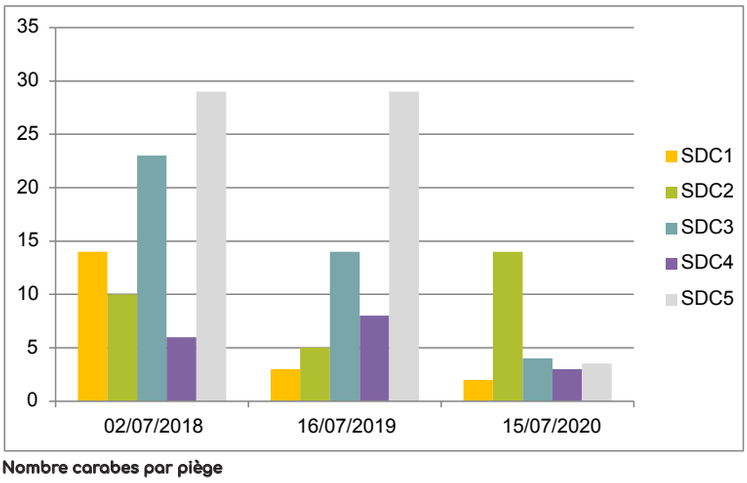


Vers de terre adultes par SDC (campagne 1)

Le nombre d'adultes est en moyenne de 25% mais fluctue beaucoup entre système ou entre année.

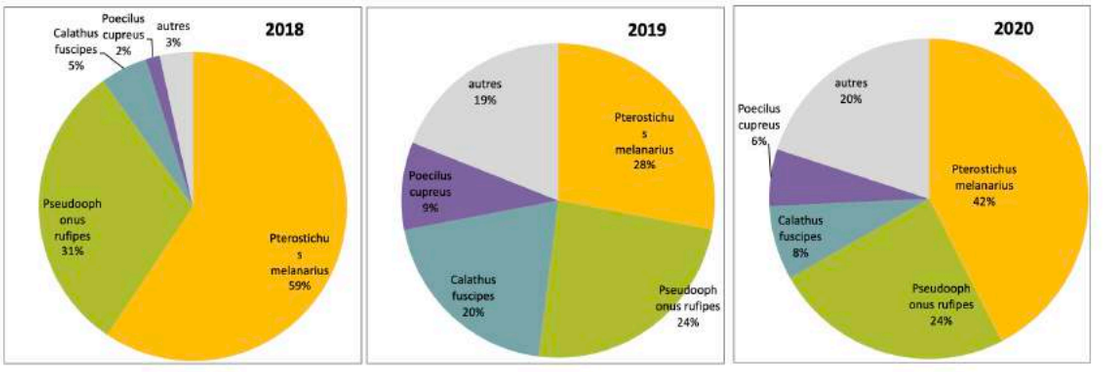
Carabes

Les carabes sont piégés (pot barber) environ 1 à 2 semaines avant la récolte car c'est la période où on les observe le plus.



Nombre carabes par piège

Aujourd'hui il est difficile de tirer des conclusions sur le nombre de carabes piégé chaque année.



Quant à la représentativité des espèces, il semblerait qu'un équilibre se crée progressivement , au profit des espèces peu représentées initialement.

Analyse multicritères des quatre campagne

Les 4 premières campagnes de l'expérimentation « système » permettent d'appréhender cette évaluation multicritère et d'en faire l'exercice mais ne permet en aucun cas de tirer des conclusions robustes sur chaque système de culture. Après seulement 4 années, il existe encore de fort déséquilibre de représentativité entre les différentes cultures de la rotation. De plus, certains indicateurs ne donnent des tendances que sur un pas de temps long à l'instar des mesures de biodiversité, de biomasse microbienne, de fertilité du sol ou de stock de carbone et leurs résultats ne peuvent pas être présentés. Tous les critères étudiés dans le chapitre V.3 ont été notés de 0 à 10. Cette note permet d'agréger des critères très différents entre eux. La note de 5 correspond généralement au minimum requis pour chaque critère (validation en CST) et représente la moyenne atteinte par un système moyen de champagne crayeuse. La note de 10 correspond au meilleur résultat attendu pour chaque critère.

SDC1 : référence optimisée

Luzerne - Luzerne - Blé - Orge de printemps - Betterave - Blé - Colza - Blé - Orge d'hiver

CRITERES DE REUSSITE

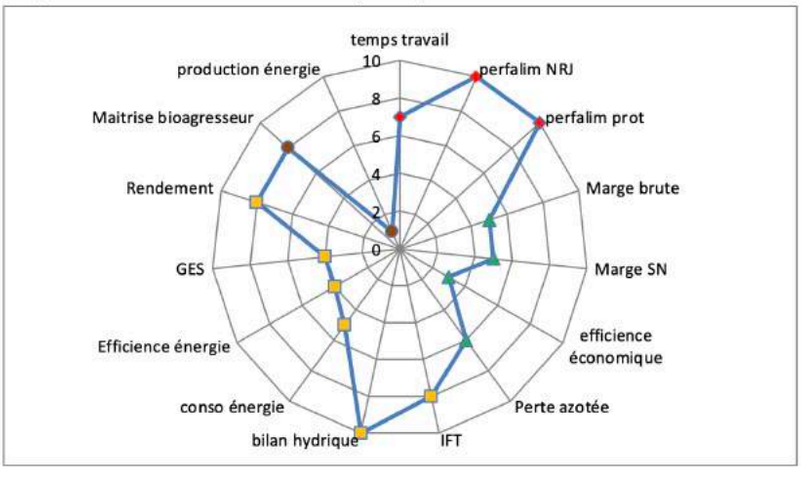
Réponse aux objectifs (0-1-2-3)

- Rendement	+4%	2
- Qualité technologique		2

Respect des contraintes (0-1-2)

- Rotation	respectée	2
- IFT	-32%	2

PERFORMANCES atteintes par le système de culture



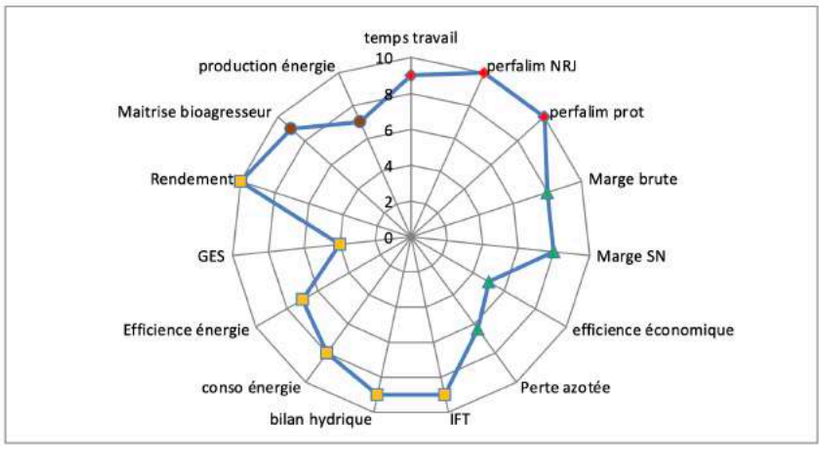
Pour ce système de culture, les contraintes et les objectifs sont atteints.
La consommation énergétique et les émissions de GES sont juste satisfaisants.
L'efficience économique est en retrait.

SDC2 : TCS et couverts annuel

Luzerne - Luzerne - Blé - Orge de printemps - Betterave - Blé - Colza - Blé - Orge de printemps

PERFORMANCES atteintes par le système de culture

CRITERES DE REUSSITE		
Réponse aux objectifs (0-1-2-3)		
- Rendement	+10%	3
- ferti sol	?	
- Stockage carbone	?	
- qualité techno		2
Respect des contraintes (0-1-2)		
- rotation	respectée	2
- IFT	-36%	2
- travail sol	respecté	2
- glypho (<240g/ha/an)	120g/ha/an	2



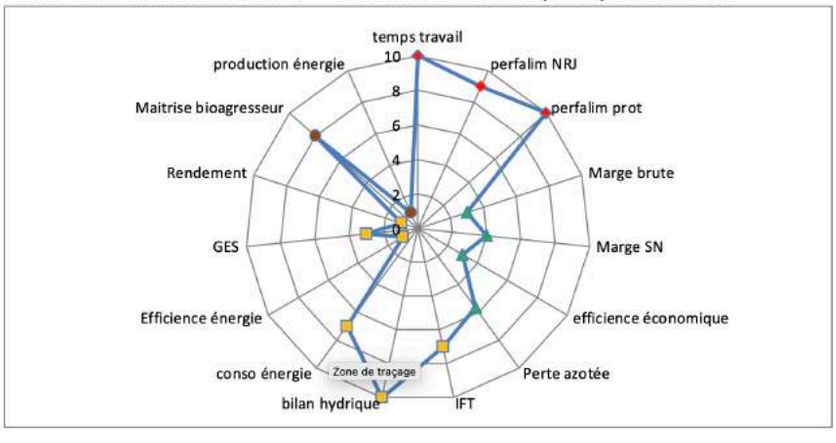
Pour ce système, l'ensemble des indicateurs est favorable sur les 4 premières années. De nombreux indicateurs dépendent beaucoup du rendement et ce SDC, aujourd'hui, a les meilleures performances. Seules les émissions de GES et la consommation énergétique sont élevées car ils dépendent beaucoup de la fertilisation azotée qui est importante pour ce système. L'efficience économique est en retrait

SDC3 : Couvert permanent

colza + trefle – blé + trefle – Orge de printemps + luzerne sous couvert – luzerne – luzerne – Blé sous couvert de luzerne - blé

PERFORMANCES atteintes par le système de culture

CRITERES DE REUSSITE		
Réponse aux objectifs (0-1-2-3)		
- ferti sol	?	
- Stockage carbone	?	
- qualité technologique		2
Respect des contraintes (0-1-2)		
- rotation	respectée	2
- IFT	-22%	2
- travail sol	qq dech	1
- glypho (<240g/ha/an)	430g/ha/an	0



Pour ce système, les contraintes fixées au départ n'ont pas toutes pu être respectées.
En effet, pour le travail du sol en 2019, la non utilisation de glyphosate a été tentée mais sur la parcelle 34, particulièrement infestée de bromes, 2 déchaumages sont réalisés et une application d'Avadex (qui a dû être enfoui par un 3ème déchaumage) pour remplacer l'application de glyphosate. Le coût supplémentaire par hectare est d'environ 2 heures, 75€ de matériel, 90 kgéqCO2/ha. L'utilisation de glyphosate est plus élevée que prévue (+40%). L'enherbement historique de ces parcelles était assez important et elles n'ont jamais été conduites en semis direct sous couvert vivant. Dans ce système, le glyphosate est employé pour :

- Détruire les repousses de colza (voire stopper celles de trèfle blanc) après semis blé sous couvert de colza sinon il serait étouffé par le couvert.
- Nettoyer les adventices avant le semis d'orge de printemps (le couvert en interculture n'est pas suffisamment développé pour étouffer les adventices).
- Détruire les repousses de luzerne après le dernier blé de la rotation pour laisser un sol propre pour le semis de colza sous couvert de trèfle blanc. Une solution serait d'appliquer un Allié au printemps dans le blé mais il y a un risque de rémanence pour le colza qui suit.
- Enfin, pour détruire les repousses d'orge et les adventices avant le semis de luzerne après orge de printemps.

Les performances sont médiocres avec des rendements décevants (-14% en moyenne) qui provoquent une faible production énergétique et une mauvaise marge économique.
Les émissions de GES sont élevées car ils dépendent beaucoup de la fertilisation azotée qui est importante pour ce système. Les 2 points positifs sont le temps de travail qui est réduit de 1.5 heure par hectare et la performance nourricière car il ne comporte que des cultures dédiées à l'alimentation humaine.

SDC4: Biomasse exportée maxi

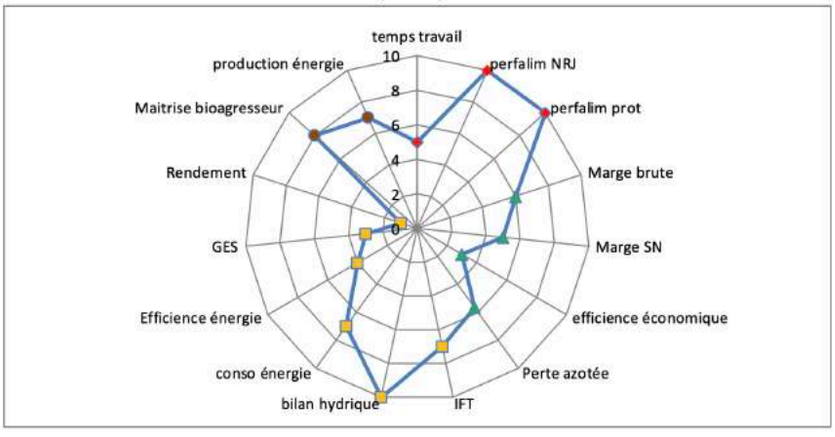
betterave – blé – pois – blé – betterave – blé – orge de printemps

CRITERES DE REUSSITE

Réponse aux objectifs (0-1-2-3)		
- Rendement	pas de gain	0
- prod nrj		2
- qualité techno		2

Respect des contraintes (0-1-2)		
- rotation	respectée	2
- Exp paille (>3/4)	respecté	2
- IFT	-25%	2

PERFORMANCES atteintes par le système de culture



Dans ce système, les objectifs de rendements fixés lors de sa conception ne sont pas atteints (rendements inférieurs de 7% en moyenne). La production d'énergie souhaitée n'est pas atteinte ; même si cette production est la plus forte de tous les systèmes, les rendements décevants que l'on constate d'une façon générale (pour tous les systèmes) ne permettent pas d'atteindre l'objectif fixé. Les émissions de GES et l'efficience énergétique sont en retrait et le temps de travail est le plus élevé (beaucoup de betterave et peu de culture à temps de travail faible).

SDC5: Autonomie azotée

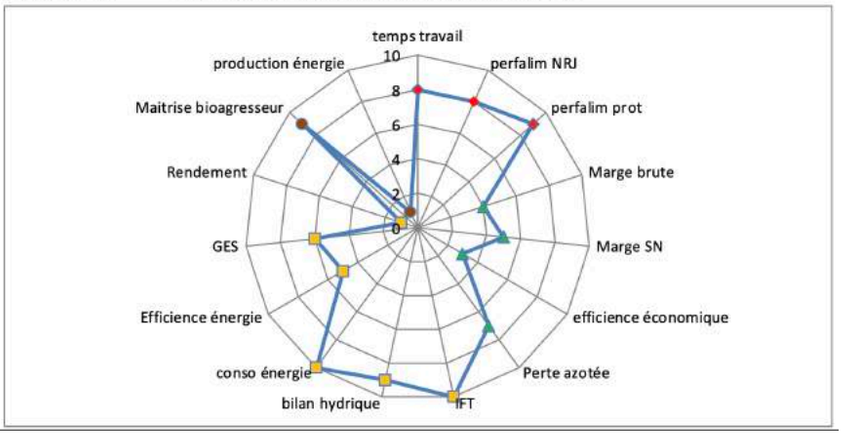
Orge d'hiver - luzerne -luzerne -orge de printemps -betterave - blé - chanvre -blé- tournesol

CRITERES DE REUSSITE

Réponse aux objectifs (0-1-2-3)		
- Rendement	pas de gain	0
- conso NRJ	9270	2
- émission GES	1470	3

Respect des contraintes (0-1-2)		
- rotation	respectée	2
- Nb PRO (2 max)	respecté	2
- Quantité N (<90uN/an)	89 kgN/ha/an	2
- IFT	-50%	2

PERFORMANCES atteintes par le système de culture



Pour ce système, les critères de réussite et de contrainte sont respectés. Les rendements globaux sont juste en dessous de la moyenne (notamment à cause du tournesol) et dégradent la production d'énergie et l'efficience économique. Ce système obtient les meilleurs résultats pour les IFT, la consommation d'énergie et les émissions de GES.

Performances globales

Ci-dessous sont renseignées toutes les notes obtenues par chaque SDC pour chaque critère.

	Gain Rdt	Production Energie	Gain techno	maitrise bioagr	Marge brute	Marge semi-nette	Efficience éco	Consommation Energie	efficience énergie	Emissions GES	réduction IFT	perte azotée	bilan hydrique	Temps de travail	perfalim nrj	peralim prot
SDC1	6	6	7	5	5	6	4	5	7	5	9	7	7	7	10	9
SDC2	9	8	6	7	7	7	4	5	10	5	8	7	7	9	10	10
SDC3	1	2	5	5	3	5	3	6	8	5	7	6	10	10	9	10
SDC4	1	8	6	5	6	6	3	2	3	4	7	6	7	5	10	7
SDC5	4	5	6	5	4	6	3	8	7	7	9	7	7	8	8	7
type	agro	agro	agro	agro	eco	eco	eco	envi	envi	envi	envi	envi	envi	social	social	social

Notes obtenues par chaque système dans chaque critère

SDC1	6	5	7	9
SDC2	8	6	7	10
SDC3	3	4	7	10
SDC4	5	5	5	7
SDC5	5	4	8	8
Type	agronomique	économique	environnement	social

Note moyenne obtenue par type

Une performance globale peut être attribuée en moyennant les différentes notes obtenues. Il est possible de faire varier le poids de chaque type d'indicateurs (agronomique, environnemental, économique et social).

Type	poids en %					
agro	25		10		10	
envi	25		30		50	
eco	25		50		30	
social	25		10		10	
	Note moyenne et classement					
	SDC2	7.6	SDC2	6.9	SDC2	7.2
	SDC1	6.7	SDC1 SDC5	6	SDC1 SDC5 SDC3	6.2
	SDC3 SDC5	6	SDC4 SDC3	5.4		
	SDC4	5.7			SDC4	5.4

Globalement tous les SDC ont des notes supérieures à 5. La note de 5 servait de pivot pour nos critères et est la valeur sous laquelle il ne faut pas passer. Enfin, les notes sont relativement proches (sauf le SDC2 qui se détache bien avec ses bons rendements), ce qui veut dire que les systèmes sont acceptables. Avec ses bons rendements et ses autres bons critères liés au rendement, le SDC 2 reste le plus performant quel que soit le poids donné au type de critère. Le SDC4 reste toujours en retrait. Sa consommation d'énergie et donc l'efficience pénalise beaucoup la note environnementale. Ses plus faibles rendements pénalisent la note agronomique et économique. Le SDC3 est pénalisé quand on donne l'accent à l'économique. Le SDC5 devient intéressant quand on donne l'accent à l'environnement.

CONCLUSION

De nombreuses nouveautés/innovations ont été mises en place dès le commencement de cette expérimentation système (cf. partie IV), avec plutôt de bonnes réussites (chanvre, striptill, orge de printemps après luzerne, nouvelle méthode de fertilisation, semis direct du blé, colza associé) ; quelques échecs (trèfle blanc sous couvert de colza, luzerne sous couvert d'orge de printemps) et enfin quelques points à améliorer (tournesol, biomasse forte d'interculture). Certaines adaptations seront mises en place pour pallier ces aspects négatifs.

Concernant le bilan global des systèmes de cultures, il faut encore attendre quelques années avant de tirer des conclusions plus fiables et d'évaluer les indicateurs qui se mesurent sur un pas de temps long.
Après ces 4 années, les systèmes qui ont subi le moins de changements s'en sortent le plus correctement (SDC1 et SDC2). Les SDC 4 et 5 ne sont pas très éloignés de nos attentes. Enfin, le SDC3 est celui qui est le plus pénalisé pour le moment.

Une refonte des systèmes est en cours chez Terrasolis avec la mise en œuvre du projet de ferme bas carbone (produire plus de carbone végétal et réduire les émissions de GES). Aussi, le SDC 4 destiné à la production de biomasse sera réorienté en système bas carbone car c'est sa fonction première. Les SDC 2 et 3 vont fusionner en un nouveau système « agriculture de conservation des sols ». Le SDC 5 ne change pas et va être poursuivi, de même que le SDC1

Les 5 techniques culturales innovantes

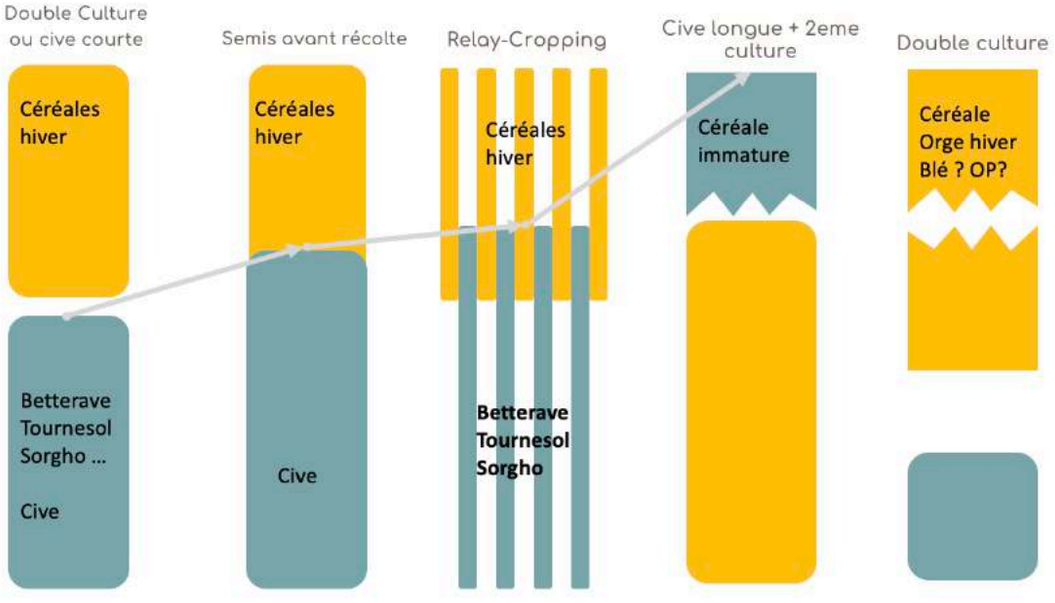
Campagnes 2017-2020

Contexte

Terrasolis souhaite mettre en démonstration une ferme « bas carbone ». La première étape a été de définir ce que Terrasolis entendait par « bas carbone » en objectivant et en chiffrant cette volonté. Terrasolis s'est donner des objectifs très ambitieux pour ce projet et définit la ferme bas carbone comme suit :

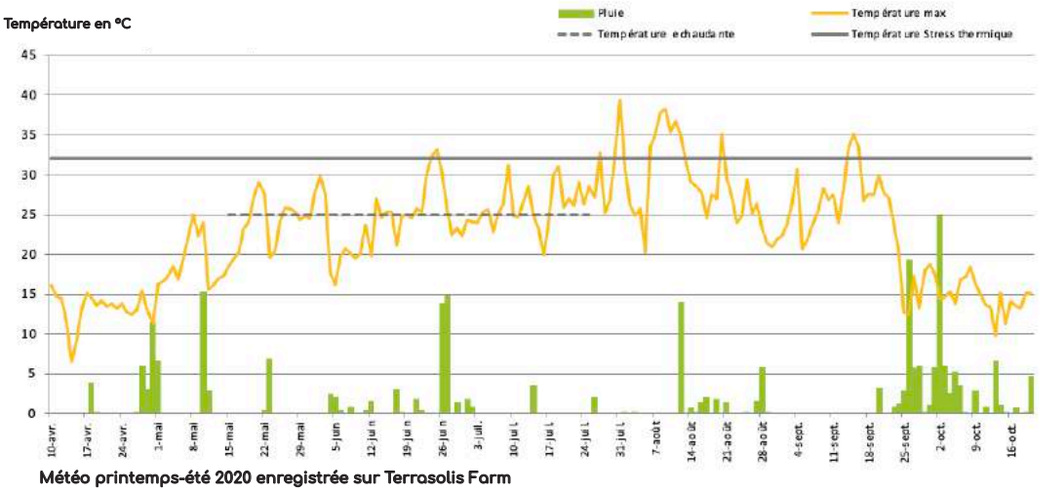
- Diminuer de 75% les émissions de GES issus des ressources fossiles (cela concerne principalement l'azote et le fuel)
- Augmenter de 25% la quantité de carbone exportée par la ferme pour substituer du carbone fossile
- Maintien des retours de carbone au sol
- Maintenir un approvisionnement de nos filières habituelles conséquent (blé, orge brassicole, oléagineux, luzerne déshydratée, betterave sucrière)

Pour atteindre les objectifs de production supplémentaire de carbone renouvelable, la ferme devra notamment maximiser la production de biomasse pendant les périodes d'interculture (périodes qui sont moins utilisées actuellement). L'objectif est principalement d'augmenter le temps de présence (courbe sur le schéma ci-dessous) de cette culture supplémentaire pour lui permettre une biomasse maximale. Pour, ceci 5 techniques sont testées sur Terrasolis Farm :



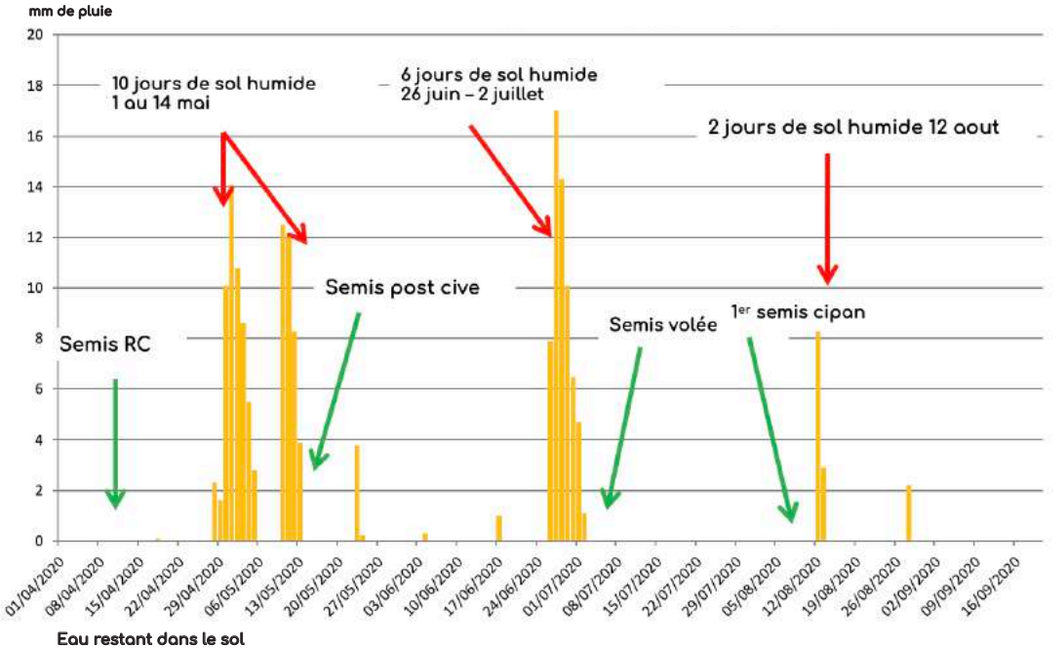
Retour sur la météo 2020

Les techniques développées sont positionnées sur la période mi-avril à octobre.
En 2020, cette période a été particulièrement sèche et chaude (voir graph ci-dessous). En effet, de début avril au 20 septembre, il n'est tombé que 6mm par semaine en moyenne alors que l'évapo-transpiration est de 30 mm / semaine.
On observe aussi 20 jours échaudant (T > 25°C lors de la période de remplissage du grain de céréale) Avec 18 jours, le nombre de jour avec du stress thermique est aussi très important cette année.



Météo printemps-été 2020 enregistrée sur Terrasolis Farm

Cet autre type de graphique ci-dessous montre le nombre de jour où le sol reste humide après une pluie (en ôtant l'ETP journalière à la pluie en question). Il nous permet de voir que les semis du relay-cropping n'ont eu potentiellement (car la transpiration supplémentaire de la culture en place n'est pas prise en compte dans ce calcul) que 10 jours de sol humide pour la germination et la levée des secondes cultures. Les secondes cultures après cive d'hiver ont connu une très longue période de sécheresse pour ne retrouver que quelques jours d'humidité un mois et demi après leur semis. Les semis à la volée avant récolte ou les semis précoce de Cipan ont connu la sécheresse dès leur implantation et jusqu'au retour de pluies de fin septembre : ils ont donc manqués 1,5 à 2,5 mois de croissance.



Eau restant dans le sol

Enfin, le tableau ci-dessous montre les prévisions climatiques de la plateforme AgriAdapt (www.agriadapt.fr) suivant un scénario du GIEC. Il compare le climat des 30 dernières années à celui des 30 prochaines.

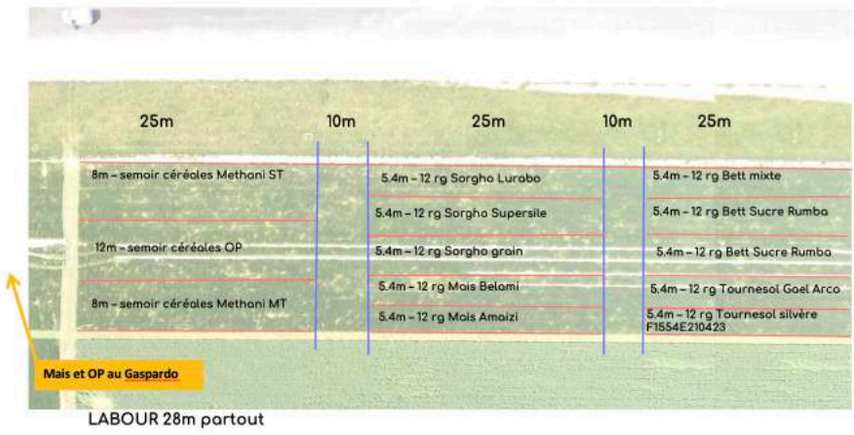
Critère (marne)	Avant	Après	Terrasolis Farm depuis 3 ans
Nb jours échaudant (Tmax > 25°C) Pendant remplissage	12	24	25
Nb jours stress thermique (Tmax > 32°C) de juin à sept	2	4	13
Séquences de 10 j sans pluie Mai à aout	1,6	2,1	4
Pluvio annuelle	630 mm		537 mm
Répartition Printemps+été vs automne+hiver	51% / 49%		37% / 63%

On peut déjà remarquer que, lors des 3 dernières années sur Terrasolis Farm (2018 à 2020), le nombre de jours échaudant, avec stress thermique ou sans pluie, a déjà dépassé ceux du scénario des 30 prochaines années prévu par AgriAdapt.
Le dernier point inquiétant est la répartition des pluies sur l'année. Même si la quantité totale annuelle semblerait constante, sa répartition va changer et cela s'est remarqué sur la ferme avec deux tiers des pluies tombés pendant l'automne et l'hiver alors qu'il n'en reste qu'un tiers pendant la période où les plantes en ont le plus besoin.

Technique et protocole

Cette technique consiste à semer une deuxième culture ou une cive courte juste après la moisson de la culture principale. Ainsi, la deuxième culture peut profiter de l'humidité résiduelle juste après la moisson et la date de semis précoce permet d'augmenter le cycle de la culture d'un mois environ.
Ce procédé se met en place majoritairement après une orge d'hiver qui laisse le sol libre vers la fin de mois de juin alors que les autres cultures classiques (blé, orge de printemps, colza) ne libèrent le sol que vers la fin du mois de juillet.
Plan de la parcelle d'essai :

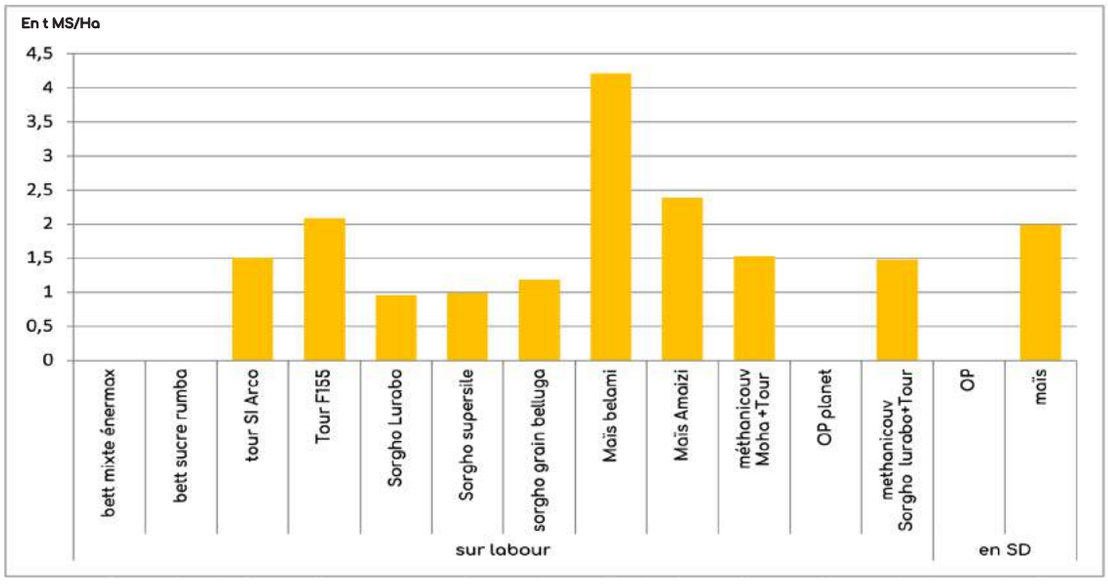
Plan de la parcelle d'essai



La récolte du précédent l'orge d'hiver a lieu le 28 juin. Le semis de la seconde culture est effectué le 3 juillet. Les densités de semis sont les suivantes : OP : 450gr/m², maïs 12 p/m², les méthanicouv 25kg/ha, les betteraves à 12 p/m², les sorghos à 35p/m² et les tournesols à 8p/m².

Résultats 2020

Cette année, ces cultures poussent par palier. Elles profitent d'une petite pluie pour lever en août et du retour des fortes pluies fin septembre pour tenter de poursuivre leur développement mais avec un temps froid et gris. Dans cet essai, les betteraves n'ont même pas réussi à germer. En fait, l'enrobage ne s'est pas assez humidifié pour laisser germer la graine. Les autres graines nues ont germées. Le 19 octobre, les tournesols sont clairsemés et mesurent 50 cm (ils commencent juste à défleurir), les maïs mesurent 80-90 cm avec une petite pomme par pied et leur grains en formation, les sorghos fourrager mesurent 50 et 80 cm, le sorgho grain 45 cm et est à floraison, l'orge de printemps mesure 40 cm et ses grains en remplissage. Aucune récolte en grain n'a pu avoir lieu fin octobre. Les grains de sorgho, maïs et tournesol ne sont pas formés ; l'OP est à grain pâteux. Les rendements plantes entières sont très décevants et s'échelonnent de 1 à 4 t MS/ha avec une moyenne de 1,5tMS/ha. Le même type d'essai sera reconduit en 2021.



Biomasse plante entière après OH (19/10/20)

SEMIS AVANT RÉCOLTE

Technique et protocole

Cette technique est testée depuis 2017 sur la ferme. Elle consiste à envoyer des graines, à l'aide d'un épandeur, alors que la culture précédente n'est pas encore récoltée. Des tests effectués en Bretagne ont montré que la date de semis idéale était d'environ 7 à 10 jours avant la récolte ; aussi, nous avons respecté ce délai. En 2017, nos premiers épandages sont effectués avec un DP12. En 2018 et 2019, ils sont réalisés avec un épandeur à engrais sur une largeur de 36m (voir les résultats dans les précédents livrables) mais la répartition n'est pas homogène et n'atteint pas la largeur de travail de l'outil. En 2020, la Ferme 112 fait réaliser un outil par un étudiant du lycée agricole de Somme-Suippe qui est constitué d'une rampe de pulvérisateur de 28m sur laquelle sont positionnés 3 petits épandeurs Delimbe. Ainsi, la répartition des graines est plus homogène et présente sur 36m de large, ce qui permet de semer en passant dans les passages de pulvérisateur existants et de ne pas écraser la culture en place. Le semis à la volée a lieu le 3 juillet et la récolte du blé le 12. Le mélange est constitué de petites graines et semé à 20 kg/ha (Moutarde 1,5 kg/ha + radis 1,5 kg/ha + phacélie 1 kg/ha + vesce 15 kg/ha).

3 épandeurs Delimbe montés sur une rampe de pulvérisateur

Résultats 2020

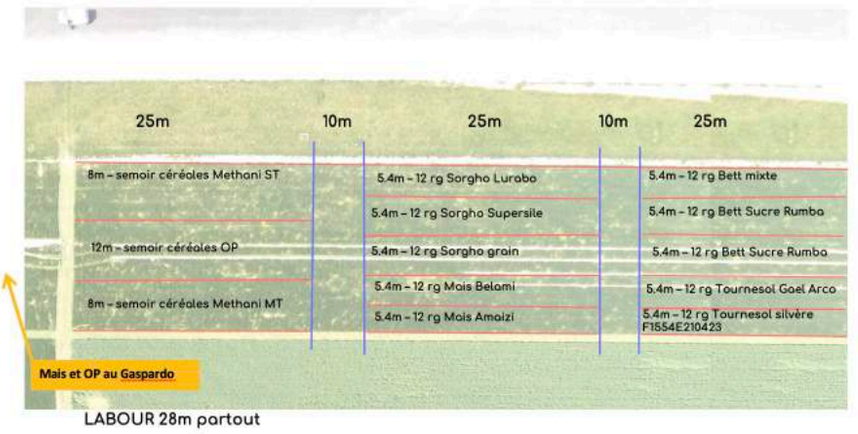
Le couvert lève le 12 août et se développe à partir de la fin septembre. On note quelques problèmes de levée en bande probablement dus aux andains de paille derrière la moissonneuse-batteuse ainsi que des trous provoqués par la forte présence de campagnols cette année. En tenant compte des trous dans la parcelle, le rendement moyen est de 2,2 t MS/ha ; ce qui est un très bon résultat compte tenu de l'année et des couverts chétifs observés dans la plaine environnante. Cette technique sera reconduite en 2021, en testant probablement une date beaucoup plus précoce comme par exemple à 2-3 nœuds du blé ou à dernière feuille.

Photo de parcelle entière prise le 12 novembre 2020

Technique et protocole

La technique du relay-cropping consiste à semer une culture d'hiver puis une de printemps en relais (la deuxième est semée alors que la première est encore en place). Pour laisser de la place à la seconde culture, la première est semée à une densité plus faible et en rangs écartés. Terrasolis Farm teste cette technique depuis 2019 ; en 2020 les modalités étaient avec du blé et de l'orge d'hiver relayés par de la betterave, du maïs, du sorgho ou du tournesol. Notre objectif est de réaliser 75% du rendement de la première culture et 50 % de la deuxième.

Plan de la parcelle d'essai



Le semis de la céréale est effectué 2 rangs sur 3 avec un écartement de 15 cm entre rang. Ainsi, se trouve un rang libre tous les 45 cm permettant le semis de la deuxième culture avec un semoir de précision classique en champagne. En 2020 et suite aux résultats 2019, nous avons décidé de semer l'orge d'hiver à 2/3 de sa densité habituelle et le blé à 80% compte tenu de son port plus dressé. Sur une petite zone de l'essai, les céréales d'hiver n'ont été semées qu'un seul rang sur 3 avec une densité réduite encore de 50% (l'objectif étant de laisser plus de place à la seconde culture et de voir jusqu'où baissait le rendement de la première).

Résultats 2020

Les résultats 2020 sont repris dans le tableau ci-dessous :

	Culture solo (3 rangs sur 3)	Culture relay-cropping (2 rangs sur 3) *	Culture relay-cropping (1 rangs sur 3) **
Orge d'hiver Pixel	330 gr/m² (100%) 533 épis (100%) 7,6 t/ha (100%)	210 gr/m² (66%) 431 épis (81%) 7,2 t/ha (95%)	100 gr/m² (30%) 282 épis (53%) 3,9 t/ha (50%)
Blé tendre Dakotana (port dressé)	330 gr/m² (100%) 520 épis (100%) 7,9 t/ha (100%)	270 gr/m² (80%) 458 épis (88%) 6,5 t/ha (82%)	135 gr/m² (40%) 293 épis (56%) 5 t/ha (60%)

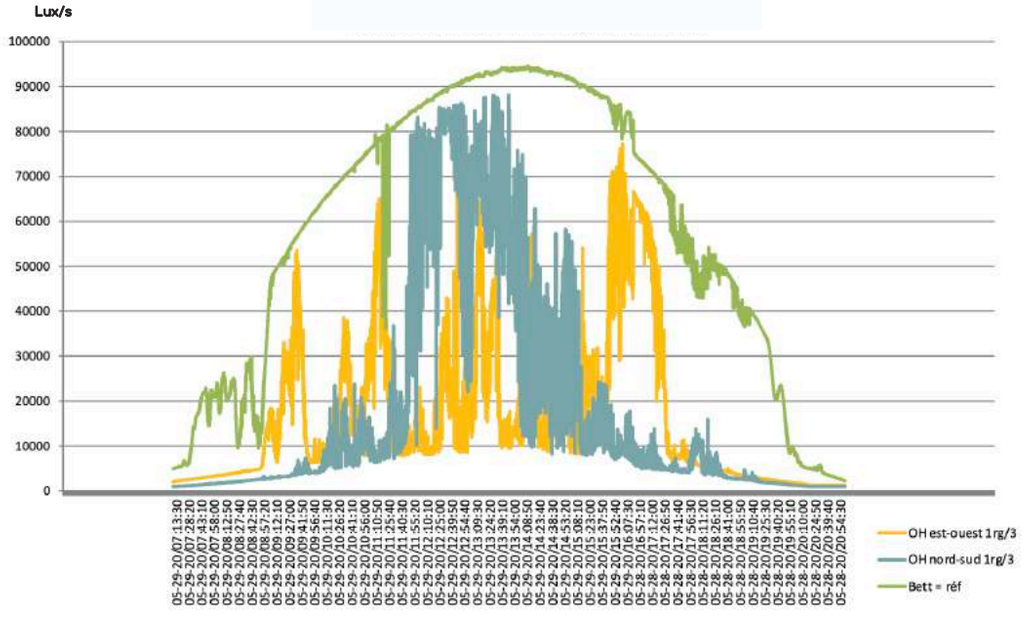
Densité de semis, nombre d'épis par m² et rendements (* Récolte en bandes ** récolte placettes)

La densité de semis et l'écartement de la céréale d'hiver doivent encore être affinés. Semés 2 rangs sur 3 avec des densités de 66 à 80%, les céréales d'hiver réalisent 82 à 95% du rendement des mêmes cultures en techniques classiques. C'est le nombre d'épis qui compense principalement la baisse de densité. Par contre, lorsqu'on sème ces céréales d'hiver 1 rang sur 3, le rendement obtenu chute assez fortement pour atteindre 50 à 60% du rendement conventionnel.

Semis de la seconde culture au semoir de précision le 3 avril 1 semaine après le stade épi 1cm.

La création d'un StripTill spécifique nous permet de travailler le sol dans l'entre-rang.

Le semis de la deuxième culture est pratiqué à une date classique (fin mars pour la betterave et mi-avril pour les sorghos, maïs et tournesols) et une densité de semis habituelle. Un Strip-till dédié a été conçu par 2 élèves du lycée agricole de Somme-Suippe pour notre expérimentation : ses dents étroites permettent de travailler le sol sans abimé la culture en place et de placer la graine dans un sol ameubli ; son attelage déporté de 22.5 cm (45cm /2) permet au tracteur de rouler dans l'inter-rang. Comme les deux cultures se chevauchent, des compétitions pour les ressources existent. Le chevauchement des 2 cultures, à des stades de développement décalés, est défavorable à la deuxième qui doit s'installer alors que la première est en pleine croissance. Une compétition pour les ressources (nutriments, eaux) sera inéluctable mais la compétition pour la lumière s'exerce aussi et est certainement plus importante que ce à quoi on s'attendait. Des mesures avec des luxmètres nous ont permis d'aborder cette problématique.



Intensité lumineuse reçue lors de la journée du 20 juillet de 5h à 21h dans 3 situations

On s'aperçoit que la culture en place, le nombre de rangs semés et l'orientation de ces derniers ont une influence sur la quantité de lumière reçu par la deuxième culture.

Sous orge d'hiver, la culture reçoit 50% de lumière de moins que sous un blé où le port du végétal est plus dressé donc laisse plus pénétrer la lumière. Une céréale semée 1 rang sur 3 laisse passer 50% de lumière en plus et une orientation nord-sud reçoit 50% d'intensité lumineuse de mieux qu'en est-ouest. Mais d'une façon générale, la première culture provoque un ombrage important puisque la deuxième culture reçoit au mieux 45% de l'intensité lumineuse. Ces compétitions ont été exacerbées par la sécheresse de 2020. Cette compétition prégnante pour la lumière a été accompagnée d'une extrême sécheresse en 2020 (lors des 5 mois suivant le semis, le sol n'a été humide que pendant 20 jours), occasionnant des croissances nulles à très faibles des deuxièmes cultures. Aussi, les rendements de toutes les secondes cultures ont été désastreux cette année et permettent de ne tirer qu'une seule conclusion qui est que pour cette technique, l'eau est le premier facteur limitant.

Compétition lumière : pourcentage de lumière reçu (100% = canopée du blé)	
Effet culture en place (2r/3)	. Sous blé : 29% . Sous orge Hiv : 13%
Effet nb rang culture en place (blé)	. 2r/3 (pratique actuelle) : 29% . 1r/3 : 45%
Effet orientation culture en place (OH)	. Si Est-Ouest : 25% . Si Nord-Sud : 35%

Point économique

La marge semi nette (produit ôté des charges opérationnelles et de mécanisation) d'un blé à 9t/ha et à 160€/t est de 575 €/ha environ. La marge semi nette d'un blé en relay-cropping qui atteindrait 80% du rendement et avec -20% de charges (semence et engrais NPK) est d'environ 375 €/ha. Cette différence de 200 €/ha doit être compensée par la deuxième culture. Avec un itinéraire technique adapté pour les secondes cultures, il faudra atteindre 50t/ha pour une betterave ou 5t pour un maïs grain.

Perspectives

Les essais se poursuivront la campagne prochaine.
Les céréales d'hiver seront semées uniquement 1 rang sur 3 et leur densité de semis sera aux environs de 50-60% de la densité classique. Un essai sera aussi proposé avec de l'orge de printemps comme première culture.
L'installation des secondes cultures est cruciale et une attention particulière y sera portée. La piste des biostimulants visant à favoriser le démarrage des secondes cultures est envisagée.

CIVE LONGUE ET SECONDE CULTURE

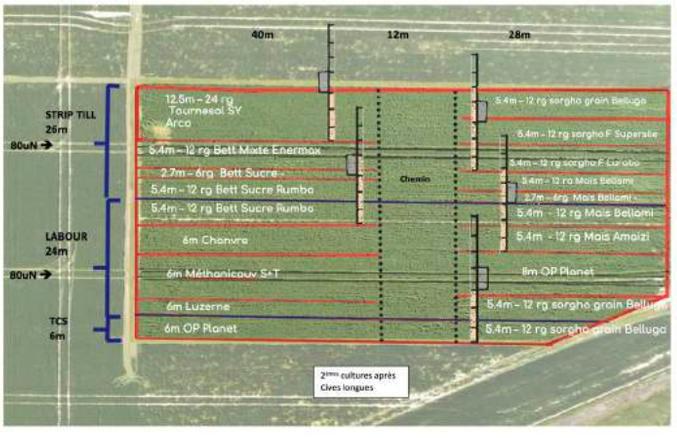
Technique et protocole

Cette technique consiste à implanter une culture à l'automne (fin septembre en général) et la récolter immature « plante entière » au printemps. Ainsi, elle aura fait un cycle long d'environ 7,5 mois. Dans notre cas, cette culture est dédiée à la méthanisation et une culture principale doit être implantée juste après afin d'être récoltée. En général, ces cives longues sont des céréales d'hiver qui permettent de sécuriser la production de biomasse car implantées sous un climat favorable à l'automne. Cette biomasse produite permet de piéger du nitrate, d'alimenter le sol, de stocker du carbone, d'alimenter un élevage ou un méthaniseur.

Pour ce projet, 2 dispositifs expérimentaux sont mis en place.

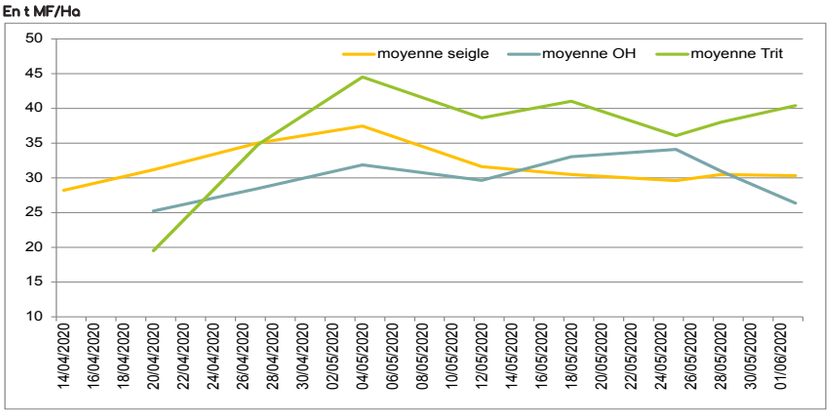
Le premier est composé de différentes céréales d'hiver : 2 seigles (SU Nasri, Traktor), 2 mélanges (Seigle + triticale), 3 orges d'hiver, 1 orge de printemps, 2 blés ont été semés mi-octobre 2019.

Le deuxième est composé d'une seule cive : un seigle implanté sur 2 ha et ensilé le 12 mai. La cive a reçu 60 unités d'azote le 20 février. Les secondes cultures ont été semées le 14 mai. Différentes techniques de semis ont été testées (en TCS, en labour, au StripTill) et avec différentes espèces semées à leur densité habituelle (2 tournesols, 2 maïs, 1 betterave mixte, 1 betterave sucrière, 1 sorgho monocoupe, 1 sorgho multicoupe et 1 sorgho grain, 1 chanvre très précoce, 1 luzerne, 1 orge de printemps et 1 méthanicouv).Des prélèvements hebdomadaires sont réalisés de de fin avril à début juin, les biomasses fraiches, sèches et les teneurs en eau ont été mesurées sur Terrasolis Farm.



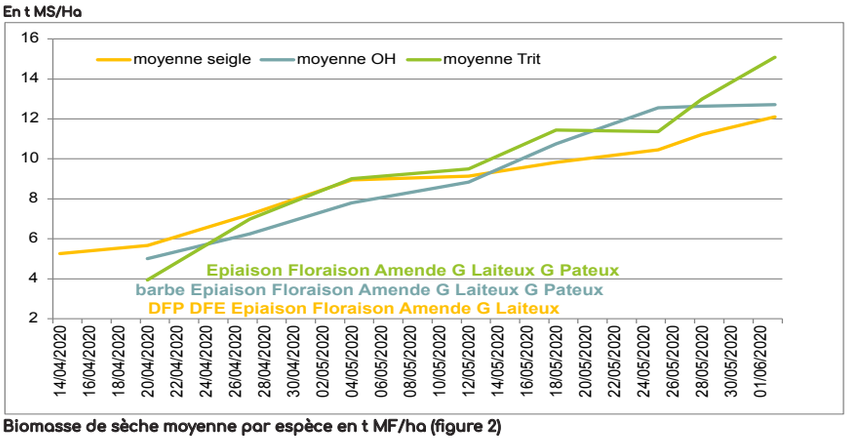
Le deuxième est composé d'une seule cive : un seigle implanté sur 2 ha et ensilé le 12 mai. La cive a reçu 60 unités d'azote le 20 février. Les secondes cultures ont été semées le 14 mai. Différentes techniques de semis ont été testées (en TCS, en labour, au StripTill) et avec différentes espèces semées à leur densité habituelle (2 tournesols, 2 maïs, 1 betterave mixte, 1 betterave sucrière, 1 sorgho monocoupe, 1 sorgho multicoupe et 1 sorgho grain, 1 chanvre très précoce, 1 luzerne, 1 orge de printemps et 1 méthanicouv). Des prélèvements hebdomadaires sont réalisés fin avril à début juin, les biomasses fraiches, sèches et les teneurs en eau ont été mesurées sur Terrasolis Farm.

Résultats 2020 - CIVE LONGUE



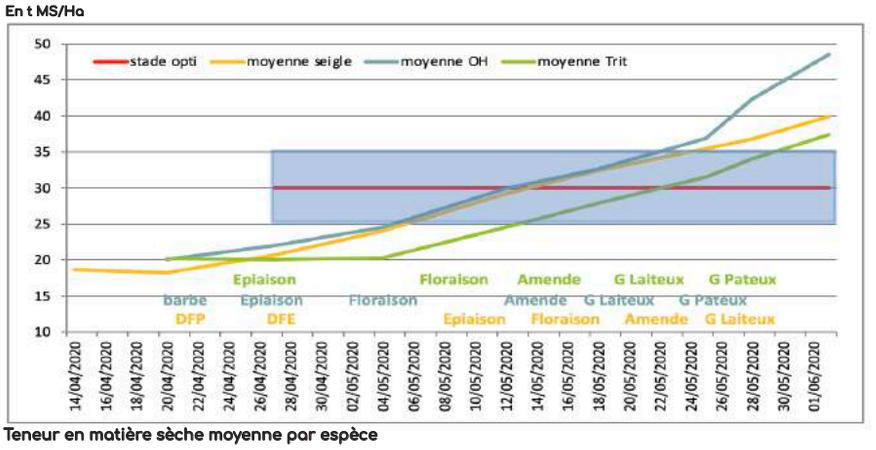
Biomasse de matière fraiche moyenne par espèce

Pour simplifier l'analyse, les variétés sont regroupées dans une seule classe « espèce ». Cette année, à partir de début mai, les matières fraiches ne progressent plus voire diminuent. Ce phénomène s'explique par la maturité des plantes qui progresse et dès cette période la plante perd plus d'eau qu'elle ne fabrique de la matière sèche (perte de 2.2 t/ha d'eau contre 1.3 t MS ha produites). Le critère « matière fraiche » n'est donc sûrement pas le plus pertinent lors de l'ensilage des cives d'hiver.

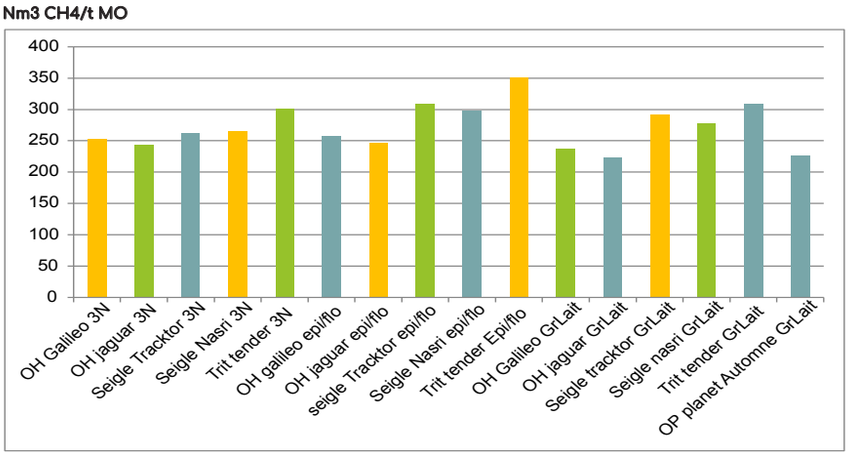


Biomasse de sèche moyenne par espèce en t MF/ha (figure 2)

Quelle que soit l'espèce, les courbes sont proches et la quantité de matière sèche produite progresse régulièrement d'environ 1.3t MS/ha chaque semaine (cf figure 2) Malgré des hauteurs de plantes très différentes, les potentiels de production sont semblables entre les 3 espèces étudiées (seigle, orge hiver, triticale). Le seigle est toute fois plus productif en début de cycle mais se fait dépasser fin mai.



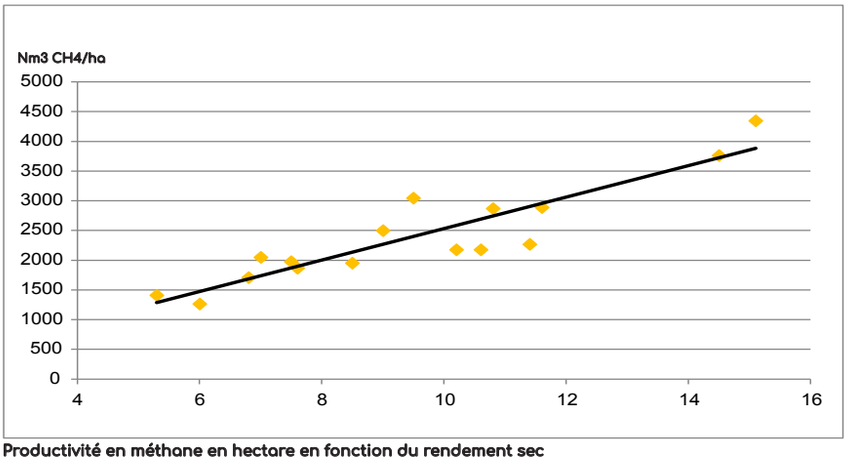
Teneur en matière sèche moyenne par espèce



Productivité en méthane par variété et à 3 stades différents

Malgré quelques variations entre échantillons, le pouvoir méthanogènes par tonne de matière organique (matière organique et matière sèche sont extrêmement proches) des 3 céréales est assez stable quel que soit le stade (3 nœuds, épiaison/floraison, grain laiteux). On peut noter un léger avantage au stade « épiaison/floraison ». De même, la différence entre culture est faible mais le seigle et le triticale semble meilleur que l'orge d'hiver.

Aussi, plus on produit de matière sèche, plus on produit de méthane par hectare de culture (voir graph ci-dessous).



Productivité en méthane en hectare en fonction du rendement sec

Quelle espèce et quand récolter ces Cives d'hiver ?

Plusieurs critères doivent être pris en compte pour savoir quelle cive implanter et quand la récolter. D'abord la productivité en biogaz par hectare qui dépend du rendement en matière sèche. Ensuite, le taux de matière sèche pour réaliser correctement le tas d'ensilage. Puis quel chantier d'ensilage on souhaite : le condenser en faisant appel à un entrepreneur ou l'étaler pour limiter les périodes de pointe quand on ensile personnellement. Et enfin la date de récolte, qui permet de libérer la parcelle pour implanter une culture principale. D'une façon générale, un ensilage entre le 15 et le 20 mai semble satisfaire de nombreux critères.

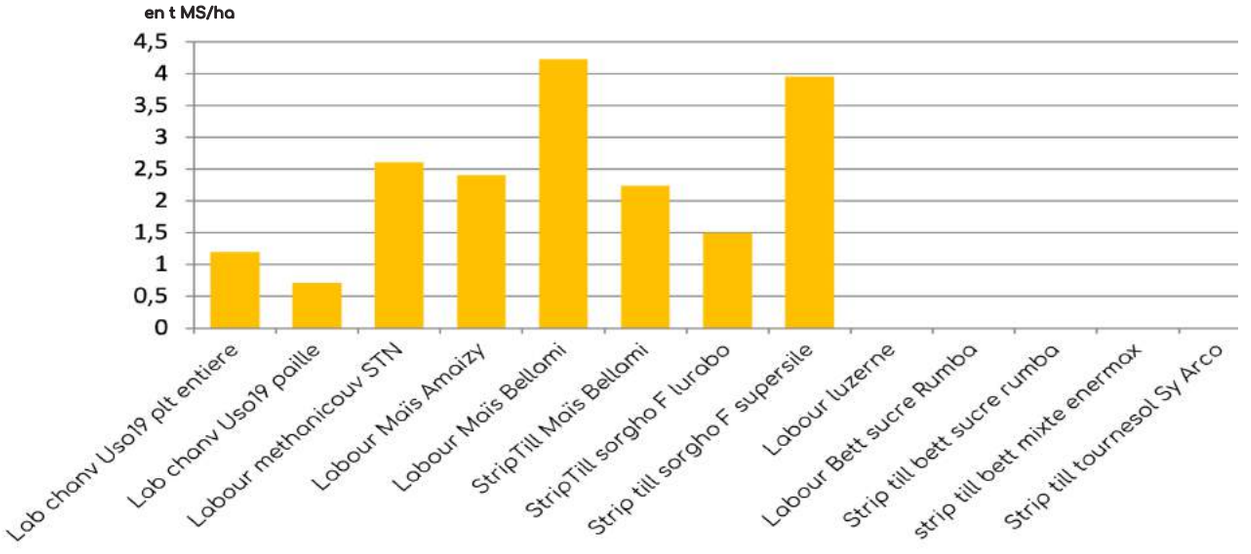
Résultats 2020 - DEUXIÈME CULTURE POST CIVE

A cause de la climatologie très défavorable de mai à septembre, cet essai a été le plus pénalisé de tous et les biomasses obtenues sont catastrophiques.
Les mauvaises germinations et levées illustrent bien ce phénomène :

- Les graines de betterave enrobées ne germent pas du tout (restent intactes) car il n'y a pas assez d'humidité dans le sol pour déliter l'enrobage. Le test de germination réalisé à la ferme 112 avait donné un taux de germination de 92%.
- Les graines nues quant à elles ont réussi leur germination mais c'est leur développement qui a pâti. La luzerne lève en 2 fois et meurt 2 fois (les plantules sont grillées par le soleil). Les autres plantes poussent par pallier une fois fin juin et une fois mi-août à chaque pluie.
- Les plantes sont tellement stressées qu'elles fleurissent très rapidement et ne croissent plus. C'est le cas des tournesols, du chanvre et des maïs

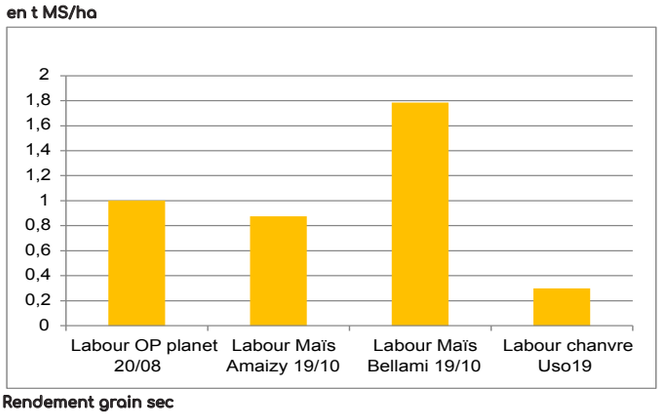
Concernant la présence d'adventices : derrière labour ou StripTill leur présence est très faible ; par contre, après 3 déchaumages (TCS), on trouve énormément de chénopodes qui prennent largement le dessus et se développent beaucoup.

Le tournesol est clairsemé et atteint 30 cm de hauteur, le chanvre est très hétérogène et mesure entre 30 et 90 cm, les maïs mesurent 80 cm avec un petite pomme par pied, le sorgho grain Belluga mesure 50cm et n'est pas à maturité, le sorgho fourrager Lurabo a fleurit très tôt et fait des tiges très fines pour mesurer 100 cm, le sorgho fourrager Supersile a fleuri plus tard et a pu poursuivre une croissance plus normale ne mesurant que 80 cm mais avec des tiges très épaisses.



Biomasse plante entière après seigle immature

Les betteraves, les tournesols et la luzerne n'ont pu être récolté.
Les tournesols sont plus pénalisés qu'après orge d'hiver car le fort stress thermique les a fait fleurir beaucoup trop tôt et stoppé leur croissance. Les sorghos et les maïs font entre 1,5 à 4 tMS/ha et malgré leur floraison précoce ils ont fait un peu plus de biomasse que leurs homologues semés après orge d'hiver. Le chanvre fait 40% du rendement de celui de la ferme (déjà en retrait) mais était à peine récoltable.



3 cultures ont pu être récoltées en grain. L'orge de printemps est récoltée le 20 août et fait 10 quintaux. Le chènevis est récoltable mi-octobre avec un rendement de 250 kg/ha (contre 670 kg/ha pour celui de la ferme 112). Les maïs font une et deux petites tonnes en rendement sec mais leurs grains étaient encore à 40% d'humidité fin octobre.
Dans cette expérimentation, la cive d'hiver est destinée au méthaniseur et les secondes cultures aux filières classiques. Aussi, dans ce cadre, une analyse économique a été réalisée.
Une comparaison entre une culture de printemps précédent de sa Cipan réglementaire et la même culture de printemps précédée d'une cive d'hiver a été entreprise.

Hypothèses de l'exercice :

- le rendement de la cive d'hiver a été fixé à 10 t MS/ha (rendement moyen sur l'essai vers le 15 mai)
- le prix de la cive « rendu méthaniseur » est variable
- le rendement de la seconde culture est variable.
- Enfin, les marges calculées dans le tableau ci-dessous prennent en compte les charges opérationnelles, les charges de mécanisation et le coût de la main d'œuvre à 25€/heure.

Pour un ensilage de seigle à 10t MS/ha

	Rdt	prix seigle en €/t MS			
	Tournesol	50	70	90	110
20%	0,7	-479	-279	-79	121
35%	1,2	-306	-106	94	294
50%	1,7	-132	68	268	468
65%	2,1	41	241	441	641
80%	2,6	214	414	614	814

Marge semi-nette Tournesol : 244€/ha

Rdt	prix seigle en €/t MS			
Betterave	50	70	90	110
18	-839	-639	-439	-239
32	-542	-342	-142	58
45	-245	-45	155	355
59	52	252	452	652
72	349	549	749	949

Marge semi-nette Betterave : 316 €/ha

Rdt	prix seigle en €/t MS			
Orge ptps	50	70	90	110
1,5	-496	-296	-96	105
2,6	-327	-127	73	273
3,8	-158	42	242	442
4,9	11	211	411	611
6,0	180	380	580	780

Marge semi-nette Orge ptps : 192 €/ha

Le tableau ci-dessus montre les critères qui faut atteindre pour réaliser une marge semi-nette supérieure (case verte) à la culture de printemps classique. Globalement, si le seigle est vendu à 70 €/t MS, il est quasiment impossible de réaliser une meilleure marge économique. Avec un seigle à 90 €/ t MS, c'est encore difficile car il faut réussir à faire 50 à 65% du rendement classique de la seconde culture. À partir de 110 € /t MS, cela semble atteignable car il faudrait réaliser 35 à 50% du rendement classique de la seconde culture. Mais, les chiffres de 2020 nous montrent que cela n'a pas été possible cette année.

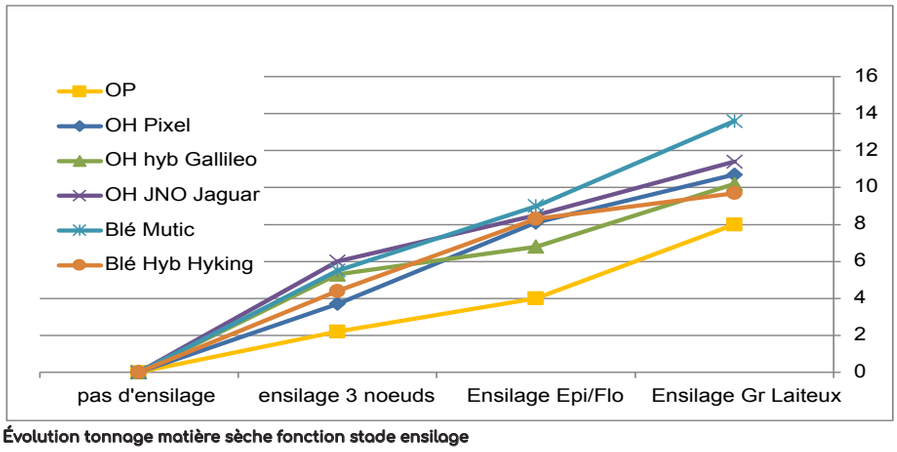
En collaboration avec la chambre d'agriculture de la Marne, nous réimplantons une deuxième plateforme en 2021. Concernant les Cive d'hiver, la date de semis sera testée avec une date précoce (début septembre) et une date classique (début octobre) ainsi que différentes variétés de seigle, d'orge d'hiver et de triticale mais aussi des mélanges à base de ces 3 céréales. Une courbe de réponse à la fertilisation sera aussi menée avec 3 doses d'azote (50, 100 et 150 unités).

DOUBLE RÉCOLTE

Technique et protocole

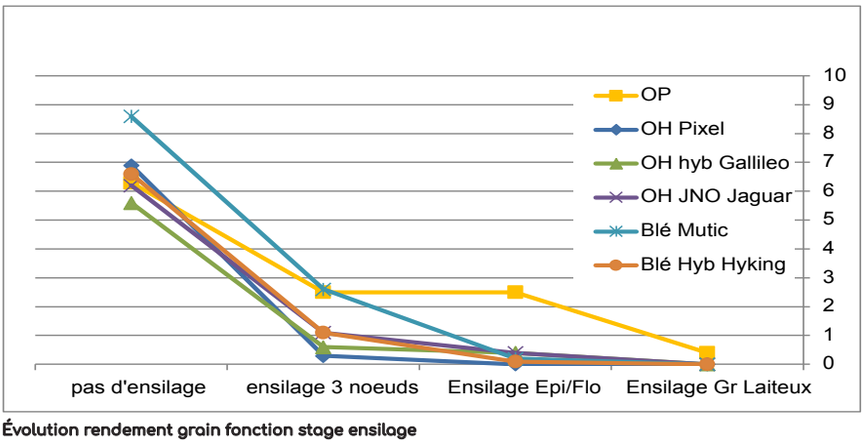
Cette technique consiste à implanter une céréale à l'automne, puis de l'ensiler immature pour avoir une première récolte et enfin de réaliser une deuxième récolte en grain. L'avantage de cette technique est de minimiser les charges puisqu'il n'y a qu'un seul semis.En 2020, les céréales implantées à l'automne étaient du blé lignée Mutic, du blé hybride Hyking, de l'orge de printemps RGT Planet, de l'orge d'hiver lignée Pixel, de l'orge lignée JNO Jaguar et de l'orge d'hiver hybride Galliléo. Ces cultures ont été ensilées à 3 stades différents (3 nœuds, épiaison/ floraison, grain laiteux).

Résultats 2020



Évolution tonnage matière sèche fonction stade ensilage

Concernant la première récolte, on remarque que les céréales d'hiver sont assez regroupées et ont des biomasses comparables aux essais cive d'hiver. L'orge de printemps semée à l'automne est toujours plus faible sur toute la durée du cycle. Pour les céréales d'hiver, les biomasses atteintes au stade 3 nœuds sont un peu juste ; elles sont satisfaisantes à épiaison.



Évolution rendement grain fonction stage ensilage

Concernant la deuxième récolte, elle est retardée d'environ 1 mois et les rendements chutent fortement dès lors qu'on ensile la culture une première fois. L'année climatique sévère n'a probablement pas permis aux repousses de se développer correctement. L'orge de printemps est la moins impactée mais sa biomasse ensilée était plus faible. Pour les autres céréales d'hiver, la date d'ensilage la moins pénalisante pour le grain est à 3 nœuds mais les rendements en grain obtenus sont mauvais et s'étalent entre 5 à 20 quintaux par hectare. En prenant les hypothèses suivantes : prix de vente du blé à 160€/t grain et prix de vente de l'ensilage « rendu méthaniseur » à 100€/t MS, pour faire une marge semi-nette équivalente à un blé classique il faudrait produire 5 t MS/ha d'ensilage et récupérer 7 t /ha de grain, ce qui parait improbable aujourd'hui. Ce type d'essai sera reconduit en 2021

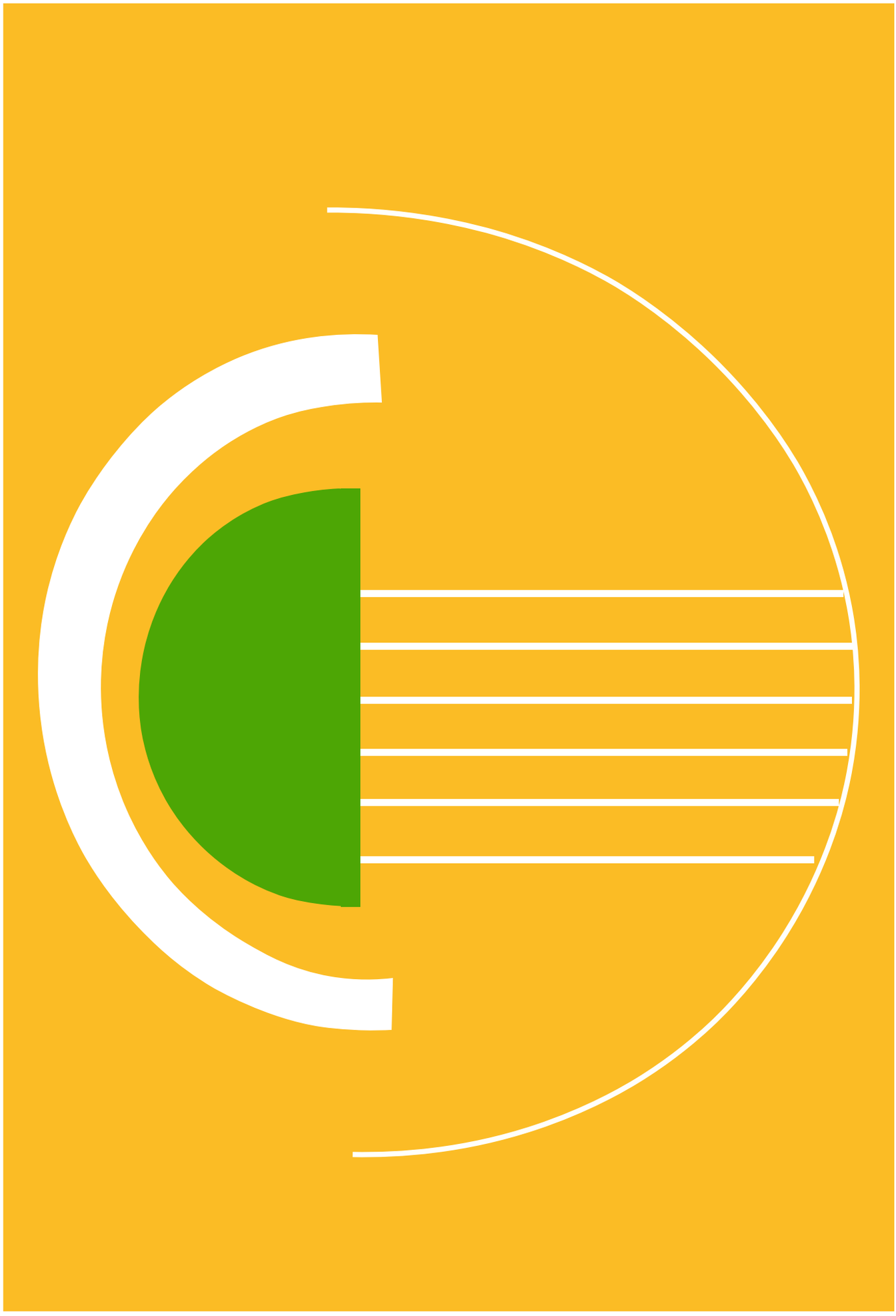
CONCLUSION

Deux problèmes majeurs s'imposent dans ce genre de technique :

- Le premier est celui du climat avec des conditions défavorables à ces techniques qui tentent de produire de la biomasse à la fin du printemps et durant l'été. Sur notre ferme, depuis 3 ans, des conditions très sèches et avec de très fortes températures s'installent de mai à septembre (cf. paragraphe II). Les prévisions climatiques fournies par AgriAdapt vont dans le même sens et on constate même que sur les 3 dernières années, nous avons dépassé ces prévisions. Inévitablement, c'est la pérennité de ces techniques qui est en jeu. Pour pallier ce climat, l'irrigation pourrait être une réponse, mais aujourd'hui elle n'est pas autorisée dans notre département pour ce type de culture.

- Le deuxième est la rentabilité économique de ces techniques. Le rendement de la deuxième culture doit pouvoir compenser l'éventuelle perte de rendement de la première et les charges supplémentaire engendrées par cette 2ème culture. Or, jusqu'à maintenant les rendements obtenus ne sont pas suffisants pour avoir un retour économique positif.

L'adaptation de ces techniques prendra du temps afin d'en trouver le meilleur compromis.



CARBONTHINK

Comment évaluer et financer la performance carbone d'une ferme de grandes cultures en Grand Est ?

L'agriculture émet des gaz à effet de serre, stocke du carbone dans ses sols et substitue par sa biomasse des ressources fossiles. Acteur clef de la lutte contre le changement climatique, l'agriculteur peut-il être rémunéré pour sa performance carbone ?

Telle est la question sur laquelle CarbonThink travaille en développant une expérimentation (type «Preuve de concept») déployées sur une centaine de fermes de grandes cultures de sa région à travers les outils suivants :

Une méthodologie d'évaluation

Avant de pouvoir financer la performance carbone d'une ferme, il faut savoir l'évaluer en tonnes de CO2 équivalent (CO2+CH4+ N20).

En France, le Label Bas Carbone (LBC) du ministère de la transition écologique encadre pour l'agriculture la rédaction de méthodologies d'évaluations sectorielles : élevage, grandes cultures, méthanisation, vin, haie et agroforesterie, plantation de vergers... les méthodes devant s'articuler intelligement.

La méthodologie dédiée aux grandes cultures, à laquelle CarbonThink via Agrosolutions a contribué, est actuellement en cours de relecture par le gouvernement et devrait être publiée d'ici fin mai 2021. Dans les mois qui suivront, des outils spécifiques seront produits afin de faciliter les calculs sur les fermes. Notons que le calculateur Eges d'Arvalis et le modèle Simeos d'Agro-Transfert, librement accessibles en ligne permettent déjà d'approcher émissions et stockage.

De quelles références techniques disposons nous ?

L'INRAE a déjà produit de nombreuses références nationales par pratique bas Carbone :

- Optimiser sa dose d'engrais minéral azoté (20N) = 0.3 T CO2e / ha / an pour -9* €/ha
- Insérer davantage de légumineuses = 2.0 T CO2e / ha de légumineuse / an pour 19 €/ha de légumineuse
- Etendre ses cultures intermédiaires = 0.7 T CO2e / ha / an pour 39 €/ha
- Implanter une haie = 1.2 T CO2e / ha / an (ou 19.7 T / km de haie) pour 73 €/ha (ou 1210 € / km de haie)

La Chambre régionale d'agriculture du Grand Est a évalué (ici) les émissions brutes (sans compter le stockage ou la substitution) d'une ferme céréalière à 2.7 T CO2e / ha / an, dont 55% issues des engrais minéraux (fabrication et épandage).

Concernant la substitution de ressources fossiles par de la biomasse agricole, la substitution du gaz naturel (fossile) par du biogaz permet d'éviter environ 2 kg CO2 / Nm3 de biogaz, ce qui ramené à la production annuelle d'un méthaniseur (modèle collectif à injection consommant annuellement 12 500 tonnes de cultures) dépasse les 2 000 T de CO2e évités.

Concernant le stockage de carbone des sols de grandes cultures en France, l'INRAE l'estime en moyenne à -47 kg C / ha / an ou 172 kg CO2e, sachant que, selon le contexte pédoclimatique et les pratiques, la tendance peut s'inverser. Le stock actuel sous l'horizon 0-30 cm des sols de grandes cultures est estimé à 54 T C / ha, passant à 96 sur leur profondeur totale.

* un coût négatif correspond à une pratique rentable pour l'agriculteur

Une méthodologie de rémunération

Pour évaluer les tonnes de CO2 émises, stockées et substituées sur une ferme, une méthodologie Label Bas Carbone explicite formules de calcul, données à utiliser, mais pas que… Le label français est en effet un cadre de certification qui permet à un porteur de projet bas carbone, agriculteur ou groupe d'agriculteurs, d'aller chercher des financements pour soutenir son action. Une méthodologie comprend donc aussi une liste d'exigences à respecter :

- être vérifiées par un auditeur indépendant et consignées dans un fichier de suivi national,
- prendre en compte leur risque de non-permanence dans le temps,
- être additionnelles, c'est-à-dire démontrer qu'elles n'auraient pas eu lieu en l'absence de financement.

Enfin, une méthodologie propose au porteur de projet deux choix de scénario de référence. Après cinq années de mise en place de nouvelles pratiques, la réduction d'émissions peut se calculer en faisant la différence entre :

- la situation finale et la situation initiale de la ferme (scénario spécifique)
- la situation finale de la ferme et la moyenne d'un groupe de fermes comparables (scénario générique).

Autre innovation de la méthodologie Grandes cultures du Label Bas Carbone, la possibilité de valoriser dans le sol, le maintien d'un stock de carbone existant, et pas seulement le stockage additionnel, prenant en considération le risque de déstockage si les pratiques vertueuses n'étaient pas maintenues.

De quelles références disposons nous ?

Quelques acteurs ou filières affichent déjà des prix de la tonne de CO2 évitée :

- France Carbon Agri : 40 €/T CO2 dont 30 pour l'éleveur, soit 1000 à 2000 €/an pendant 5 ans, considérant que de nombreuses pratiques bas carbone en élevage passent par de l'optimisation technique et sont donc rentables par nature, mais pour autant associées à un apprentissage et une prise de risque requérant rémunération
- Carbocage : 80 €/T CO2 pour un projet d'entretien et/ou d'implantation de haie, pratique plus coûteuse pour la ferme car venant directement en déduction de la superficie cultivée, soit plus de 2000 €/an pendant 5 ans sur une ferme comptant déjà 7km de haies et en implantant 300 m/an supplémentaires (pour un total évité de 30 T CO2e/an)
- Soil Capital : en grandes cultures, « même sans rémunération le carbone dans le sol c'est rentable » selon selon la société belge qui affiche une rémunération nette autour de 2000 €/an (pendant 5 ans, actuellement hors LBC).

Des études permettent également d'approcher, si ce n'est des prix, au moins des volumes potentiels de CO2e évités, qui pourraient être la cible de financements :

- INRAE : estime par région des volumes de CO2e évités selon différents niveaux de prix de la tonne de CO2, fait apparaître en Grand Est (3 M ha) un potentiel d'au moins 2 MT de gain pour un prix de 50 €/T CO2
- Climagri Grand Est : évalue à 13 MT CO2e les émissions régionales de l'agriculture et leur baisse de 15% atteignable en encourageant le développement de l'agro-écologie (agriculture biologique et agriculture de conservation), la méthanisation des effluents et des cultures intermédiaires, l'amélioration des rations des ruminants… À ce volume, n'est pas attaché de prix.

Côté CarbonThink, les résultats du test (évaluation technico-économique) de la méthodologie Grandes Cultures du Label Bas Carbone dans une dizaine de fermes du Grand Est seront bientôt disponibles.

À date, la méthodologie d'évaluation Grandes cultures du Label Bas Carbone n'a pas encore produit de références. D'ailleurs, selon sa situation de départ et ses ambitions, chaque ferme aura sa propre trajectoire. Une chose est sûre néanmoins, la Stratégie Nationale Bas Carbone assigne des objectifs de réduction d'émissions à l'agriculture française d'environ 20% d'ici 2030 et 50% d'ici 2050. Et le respect de cette ambition requiert d'allouer des moyens dédiés aux agriculteurs, mixant sûrement différentes sources de financement.

Pour accélérer la transition bas Carbone du Grand Est, CarbonThink met à disposition de la communauté agricole régionale :

En matière d'EVALUATION :

- une analyse comparée des outils d'évaluation du Carbone en agriculture ici
- la méthodologie d'évaluation du LBC (contribution de CarbonThink) dédiée aux Grandes cultures - à paraître courant mai 2021
- les résultats techniques et économiques de 10 fermes de grandes cultures du Grand Est selon la nouvelle méthodologie LBC - à paraître courant mai 2021
- une étude de réceptivité à grande échelle permettant de qualifier les projets Carbone d'intérêt pour les agriculteurs, éleveurs et viticulteurs du Grand Est - à lancer en juin 2021

En matière de FINANCEMENT :

- la comparaison de l'efficacité de six instruments de transition vers une agriculture durable, en lien avec la prochaine PAC - lien de l'étude ici
- un guide de recommandations guidant l'investissement climatique des industries de l'agro-alimentaire dans les exploitations agricoles - à paraître courant juin 2021
- un modèle économique permettant à 100 fermes de grandes cultures de valoriser leur performance Carbone - d'ici septembre 2021
- une interface numérique facilitant la transaction Carbone entre agriculteurs et financeurs - d'ici 2022

Consortium CarbonThink

INRAE — la science pour la vie, l'humain, la terre
I4CE Institute for Climate Economics
planet A — Innovative agriculture for a shared world
agrosolutions — Edifier un monde durable
TERRASOLIS — New Living Vision

Avec le soutien de Grand Est — L'Europe s'invente chez nous — Union européenne — eip-agri

FOCUS SUR LES RÉSULTATS DE NOS PARTENAIRES

Projet Syppre

Construire ensemble les systèmes de demain

Contexte

Les objectifs du projet Syppre, en terres de craie de Champagne, définis avec les partenaires locaux à l'horizon 2025, sont de permettre à l'agriculteur de produire des matières premières alimentaires, de qualité et en quantité, en limitant la dépendance aux engrais azotés minéraux pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, et en préservant la fertilité des sols. Ces objectifs ont été traduits au niveau local et national pour l'action Syppre par des indicateurs et des seuils à atteindre.

Matériels et méthode utilisés

Une plateforme expérimentale a été lancée sur le site Terralab en 2016 sous le schéma suivant : un système de culture témoin représentatif de l'assolement local et un système de culture innovant co-conçu pour répondre à la multi-performance visée dans les cadres national et régional de l'action Syppre. Ce dernier mobilise les principaux leviers suivants : diversification des cultures, introduction de légumineuses en cultures principales, associées et intermédiaires, travail du sol limité à un labour sur une rotation de dix ans.

Le dispositif expérimental comprend 3 blocs au sein desquels sont présents les 15 modalités des systèmes témoin et innovant (rotations de 5 et 10 ans).

Une analyse des performances est réalisée chaque année avec l'outil Systerre®, les règles de décision sont confrontées au réalisé et des diagnostics agronomiques sont établis sur la base de mesures et observations réalisées en cours de campagne. L'ensemble de ces informations est rassemblé dans une synthèse annuelle.

SDC Innovant / SDC Témoin	Objectif	2016/17	2017/18	2018/19	2019/20
Production d'énergie brute (MJ/ha)	≥ Témoin	-7%	-8%	-6%	-15%
Efficience énergétique (MJ/MJ)	≥ Témoin	12%	6%	9%	-4%
Marge directe avec aides (€/ha)	≥ Témoin	-17%	-12%	-53%	-78%
EBE/UTH familial	A définir	-16%	-14%	-56%	-91%
IFT Total (hors TS et biocontrôle) par rapport à la valeur régionale : 5,63	≤ -50% / réf régionale	-21%	1%	-27%	Changement de calcul ne permettant plus la comparaison
Apports d'azote minéral (kgN/ha)	≤ -20% Témoin*	-37%	-20%	-33%	-29%
Emissions GES totales (kgéqCO2/ha)	≤ -20% Témoin	-26%	-17%	-25%	-22%
Consommation énergie primaire totale	≤ -20% Témoin	-17%	-13%	-14%	-11%

Tableau 1 - Comparaison des performances des systèmes innovant et témoin avec Systerre®

D'un point de vue agronomique, la campagne 2019/20 a été marquée par le manque d'eau estival pénalisant fortement les cultures de printemps, la présence de jaunisse généralisée sur les parcelles de betteraves et une forte attaque des pigeons sur les cultures de pois du système innovant obligeant la destruction de celles-ci. De par son assolement, le système innovant a été plus fortement impacté que le système témoin expliquant en partie les mauvaises performances économiques.

Pour la première année une rampe de localisation a été utilisée pour le désherbage des betteraves et les traitements aphicides. L'utilisation de cette rampe de localisation complétée par la réalisation de binages nous a permis de réduire les IFT, tout en gardant des parcelles propres, sans utiliser de glyphosate dans les modalités TCS et avec labour.
L'utilisation d'une herse étrille au printemps, avec réglage de pression, nous a permis de limiter l'utilisation d'herbicides sur les cultures de céréales. Les résultats sont encourageants et à confirmer. Enfin, concernant la maitrise des adventices, l'investissement dans un outil de scalpage nous permet de mieux gérer les vivaces. Dans les enseignements validés, l'implantation précoce du colza en associé a permis d'obtenir une très bonne levée et une bonne biomasse en entrée d'hiver par rapport à un colza conduit dans le système témoin avec une implantation plus tardive, représentative des pratiques locales.

Synthèse

La campagne 2019/20 a été une année très particulière avec des conditions climatiques extrêmes, et une pression de ravageurs (pucerons, oiseaux) exceptionnelle. Cela a impacté significativement le potentiel de production de certaines cultures.
Si la maitrise des adventices reste une difficulté importante sur ce site compte-tenu de son passif, les différents leviers mis en œuvre conduisent à son amélioration. La problématique de gestion des vivaces dans un itinéraire avec un travail du sol limité est croissante. L'objectif de ne pas utiliser de glyphosate a pu être atteint sur cette campagne.

Perspectives

Si les performances techniques et environnementales du système innovant sont dans la bonne voie, les résultats économiques ne sont pas satisfaisants. Une re-conception à la marge sera envisagée avec très probablement le retrait d'un pois dans l'assolement. L'objectif de réduction de l'emploi d'azote minéral pourra être affecté. Cependant, il est prévu, pour les années à venir, l'apport d'engrais organiques avant l'implantation des cultures intermédiaires. L'utilisation de la rampe de localisation pourra être généralisée sur l'ensemble des cultures en lignes. Dès l'automne, des passages d'herse étrille pourront être envisagés.
.

Projet AGRERE

Construire ensemble les systèmes de demain

Contexte

Les performances du modèle agricole conventionnel en grandes cultures sont notamment fondées sur l'utilisation croissante d'intrants de synthèse comme les engrais minéraux et les produits phytosanitaires. Toutefois, ce modèle montre des limites économiques (volatilité, épuisement des ressources...) et environnementales (émissions de gaz à effet de serre, pollution...). Il est donc essentiel d'intégrer dès aujourd'hui ces enjeux en concevant des systèmes de culture capables de boucler au maximum les cycles des éléments (carbone, azote, phosphore) et en utilisant des gisements renouvelables afin de garantir la pérennité des systèmes de culture. Cette démarche permet d'améliorer la résilience des exploitations agricoles, en cohérence avec la feuille de route de l'économie circulaire. Dans ce contexte, l'essai AGRERE (AGriculture à stratégie d'Economie, de Recyclage et d'Entretien des ressource) a été mis en place avec les objectifs suivants par rapport au système conventionnel de Champagne crayeuse : i) réduire de 25% la fertilisation en azote minéral à l'échelle de la rotation, ii) supprimer la fertilisation en phosphore minéral et iii) réduire de 50% l'IFT des produits phytosanitaires conventionnels à l'échelle de la rotation.

Matériels et méthode utilisés

Implanté sur une surface d'environ 16 ha sur la ferme expérimentale de TERRASOLIS depuis 2018, l'essai système AGRERE est découpé en 4 parcelles unitaires d'environ 4 hectares chacune. Cette taille a été choisie pour que les agriculteurs puissent travaillent avec leur matériel afin de tester la faisabilité en conditions réelles des pratiques testées. L'essai a été mis en place en 2018 pour une durée de 9 ans correspondant au cycle de la rotation (figure 1). Initialement, le sainfoin était présent à la place de la luzerne dans la rotation du fait de ses faibles besoins en phosphore et potassium qui répondaient aux objectifs de l'essai. Toutefois, le débouché du sainfoin n'a pas pu être pérennisé et une autre légumineuse, la luzerne, remplace le sainfoin depuis cette année.

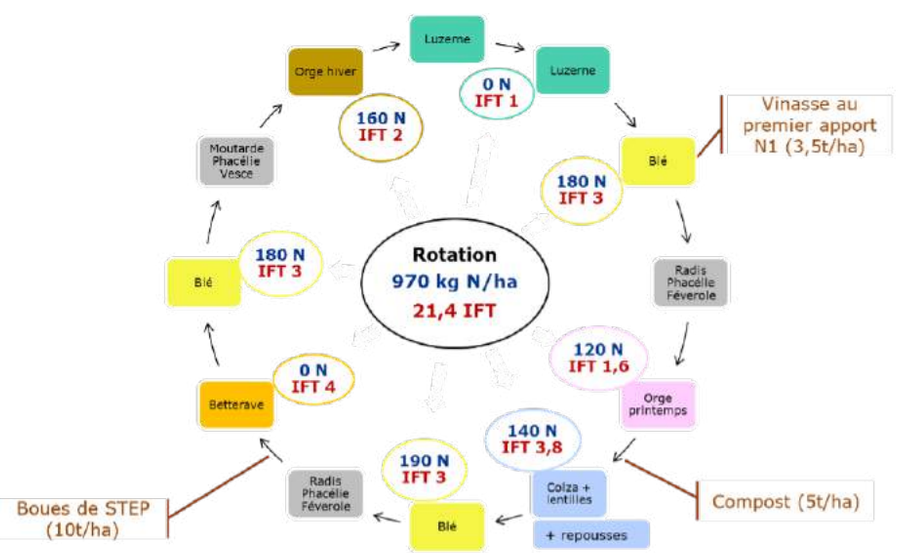


Figure 1 : Rotation des cultures de l'essai AGRERE

Les leviers sont à la fois techniques (forme d'engrais N d'azote minéral, pilotage avec OAD pour la fertilisation et les traitements phytosanitaires, désherbage mécanique, microdose) et agronomiques (choix des variétés, couverts végétaux en interculture et en cultures associées, insertion de légumineuses, restitution et incorporation des résidus agricoles dans le sol, apports de matières organiques exogènes (boues de STEP, vinasses et composts avant d'apporter potentiellement des digestats)).

Résultats

Les rendements obtenus lors des deux premières années de l'essai (figure 2) sont proches de ceux obtenus sur l'ensemble du site de Terrasolis. Toutefois, ils sont plus faibles surtout en 2020 à cause de forts dégâts sur colza et betterave.

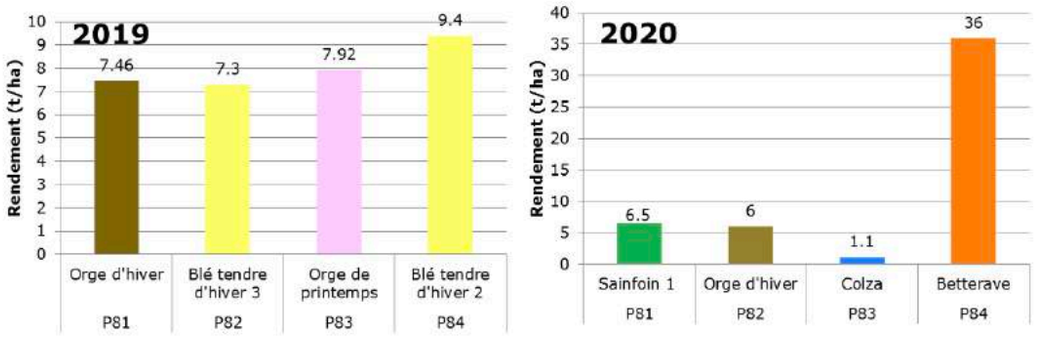


Figure 2 : Rendement (t/ha) de chaque culture de l'essai en 2019 et 2020

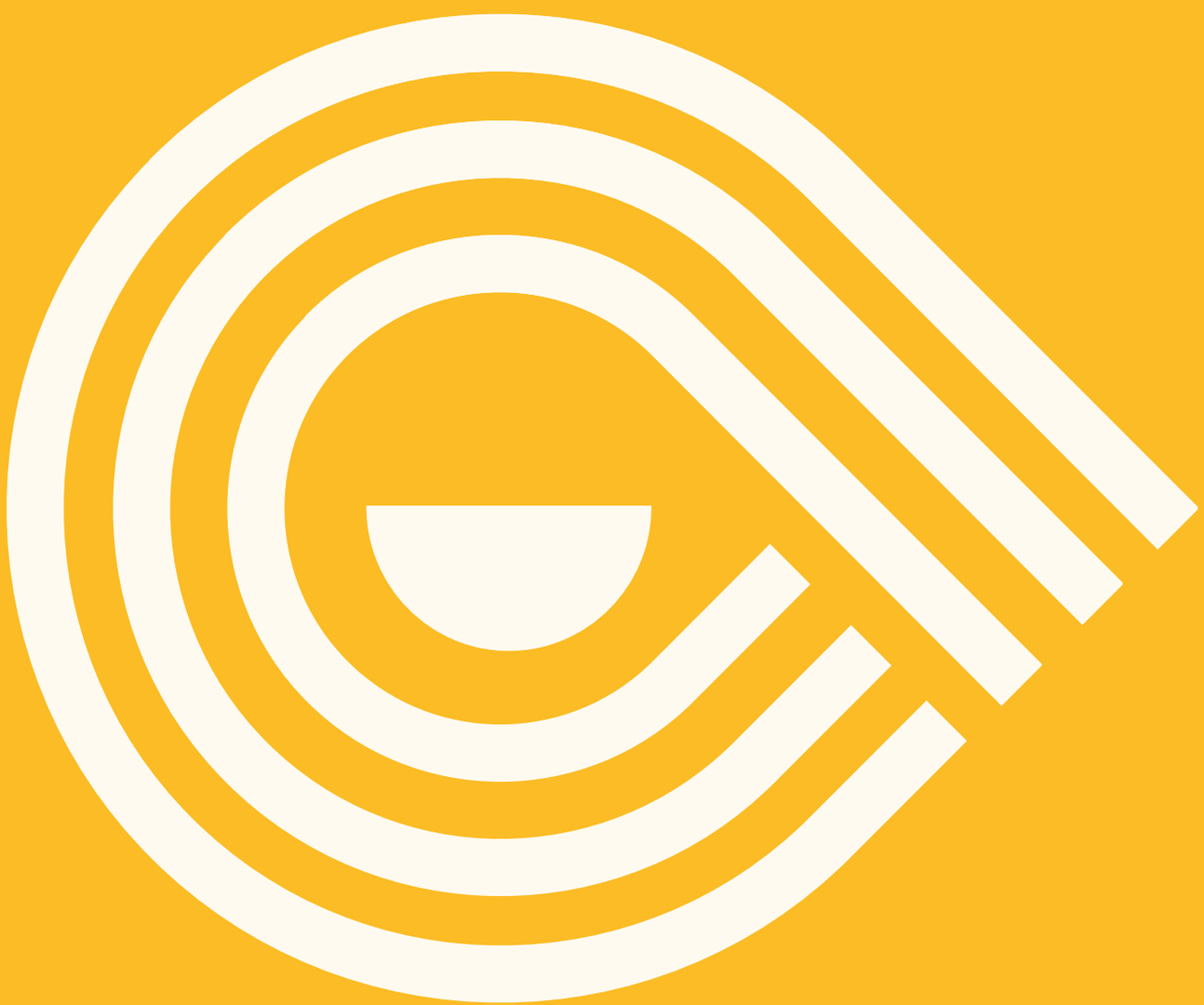
Bilan et perspectives

Globalement, après 2 ans d'essai, nos objectifs de réduction de 25% de la fertilisation azotée minérale et de 50% de l'IFT ont été réalisés sur l'ensemble des cultures en place, en maintenant des rendements plus faibles mais proches des rendements de référence du site. Le bilan global du système ne pourra être réalisé qu'à la fin des 9 ans de la rotation, en intégrant des indicateurs qui s'évaluent sur un pas de temps long. L'essai système AGRERE vise à construire un système de culture bouclant les grands cycles (C, N, P). Avant de mettre en place des solutions alternatives, nous nous sommes d'abord focaliser sur l'optimisation de l'utilisation des intrants de synthèse, notamment des engrais (NP), qui va se poursuivre avec l'utilisation d'OAD. La mobilisation de matières fertilisantes issues de ressources renouvelables sera confortée avec l'apport de digestats dans la rotation dès qu'un méthaniseur sera installé sur le site. Par la suite, nous souhaitons tester au champ des produits de biocontrôle, dont l'efficacité aura été montrée, en substitution aux produits phytosanitaires de synthèse.

Revivez notre événement Terrasolis Meeting

En complément des informations contenus dans ce livrable agronomique, regardez le replay de l'événement associé pour disposer d'informations complémentaires

Je flashe le QR code avec mon appareil photo pour accèder à la vidéo



Terrasolis

Chambre Régionale d'Agriculture Grand Est
Complexe agricole du Mont Bernard
51000 Châlons-en-champagne

contact@terrasolis.fr - www.terrasolis.fr

Avec le soutien de

Et de l'Etat Français,

Opération soutenue par l'État, dans le cadre du CRSD de Reims, Fond pour les restructurations de la Défense, et Fond national d'aménagement et de développement du territoire