

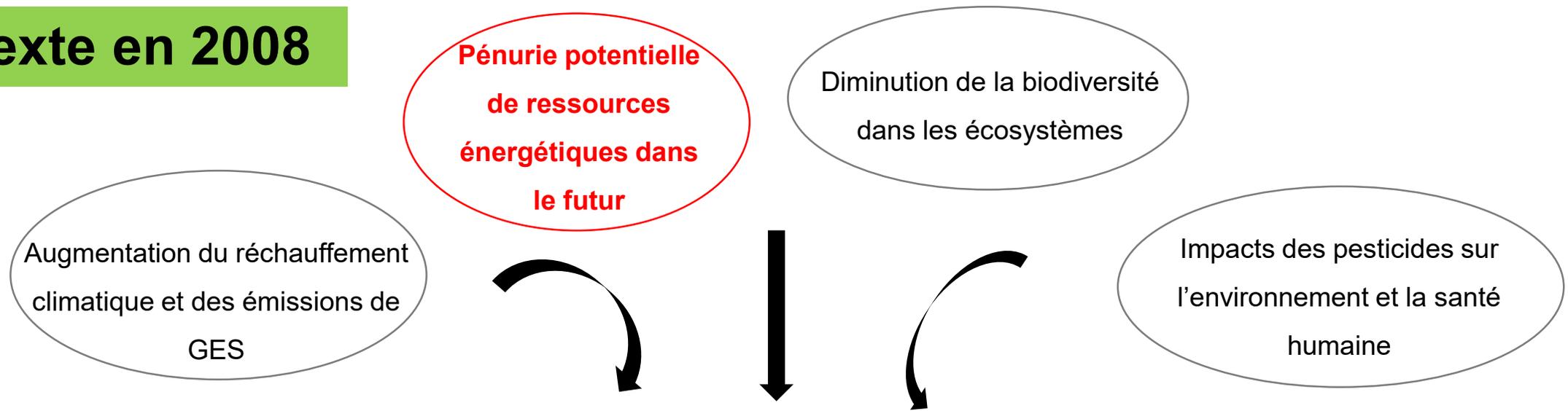


# Conception et évaluation de systèmes de culture innovants 11 années d'expérimentation dans le dispositif S.I.C. Résultats de performances énergétiques

C. Colnenne-David, M.H. Jeuffroy, G. Grandeau, T. Doré



# Contexte en 2008



**La Recherche doit proposer, tester, analyser de nouveaux systèmes de culture qui satisfont une multiplicité de critères environnementaux tout en étant productifs**

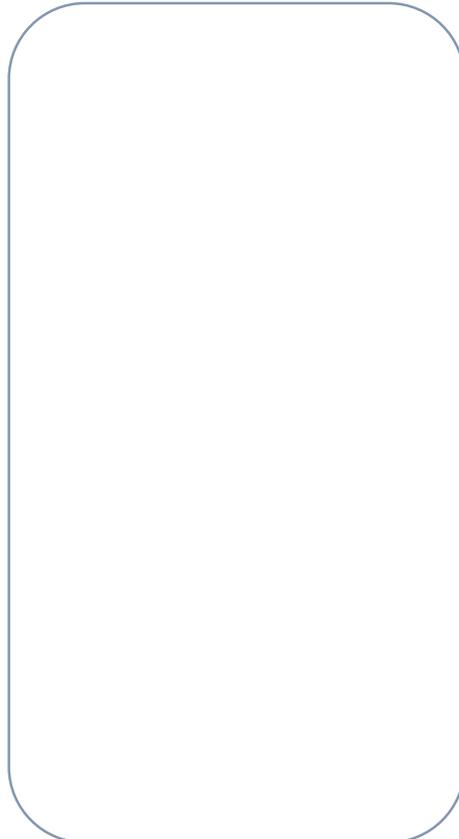
## Objectifs

- 1. Concevoir des systèmes de culture innovants par prototypage participatif** (*Vereijken et al., 1997; Lançon et al., 2007*)
- 2. Evaluer les systèmes prototypes les plus prometteurs dans un essai de longue durée** (*Reau et al., 1996; Debaeke et al., 2009*)

# Contraintes et objectifs assignés aux systèmes de culture innovants

## PHPE

Productif à hautes performances environnementales



## No-Pest

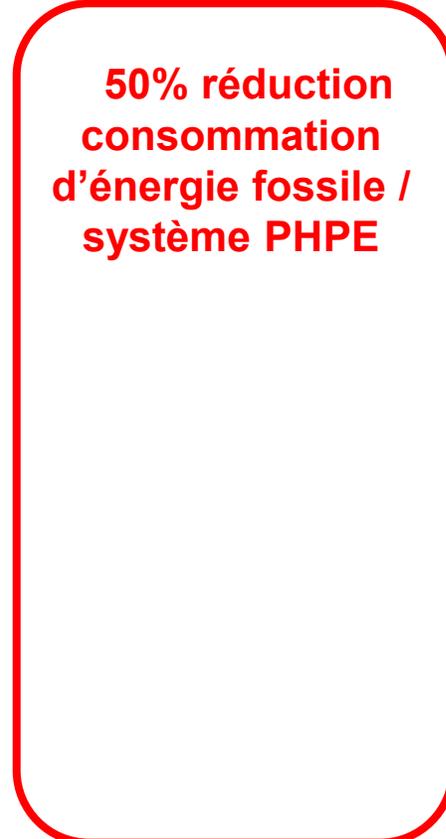
Sans pesticide

Sans pesticide de synthèse ni produit autorisé en AB



**EN-  
Energie moins**

50% réduction consommation d'énergie fossile / système PHPE



## GES-

Gaz à effet de serre moins

50% réduction émissions de GES / système PHPE



# Contraintes et objectifs assignés aux systèmes de culture innovants

## PHPE

Productif à hautes performances environnementales

Un set de critères environnementaux

## No-Pest

Sans pesticide

Sans pesticide de synthèse ni produit autorisé en AB

Un set de critères environnementaux

EN-  
Energie moins

50% réduction consommation d'énergie fossile / système PHPE

Un set de critères environnementaux

## GES-

Gaz à effet de serre moins

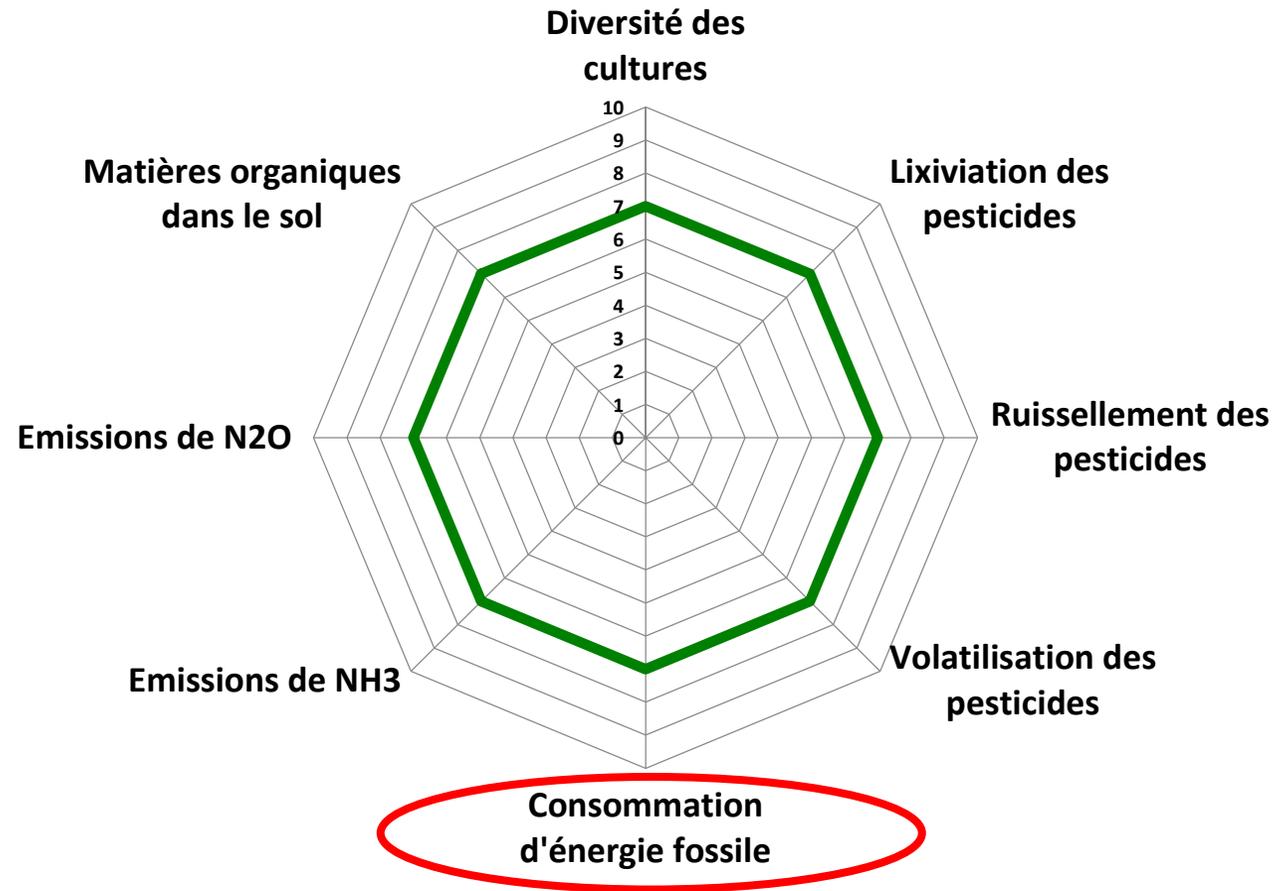
50% réduction émissions de GES / système PHPE

Un set de critères environnementaux

# Les indicateurs agri-environnementaux

**Indicateurs  
agri-environnementaux  
calculés avec l'outil  
Indigo®**  
(Bockstaller *et al.* 2008)

**Valeurs minimales ( $v \geq 7$ )  
pour satisfaire les critères  
environnementaux**



# Contraintes et objectifs assignés aux systèmes de culture innovants

## PHPE

Productif à hautes performances environnementales

## No-Pest

Sans pesticide

**EN-  
Energie moins**

## GES-

Gaz à effet de serre moins

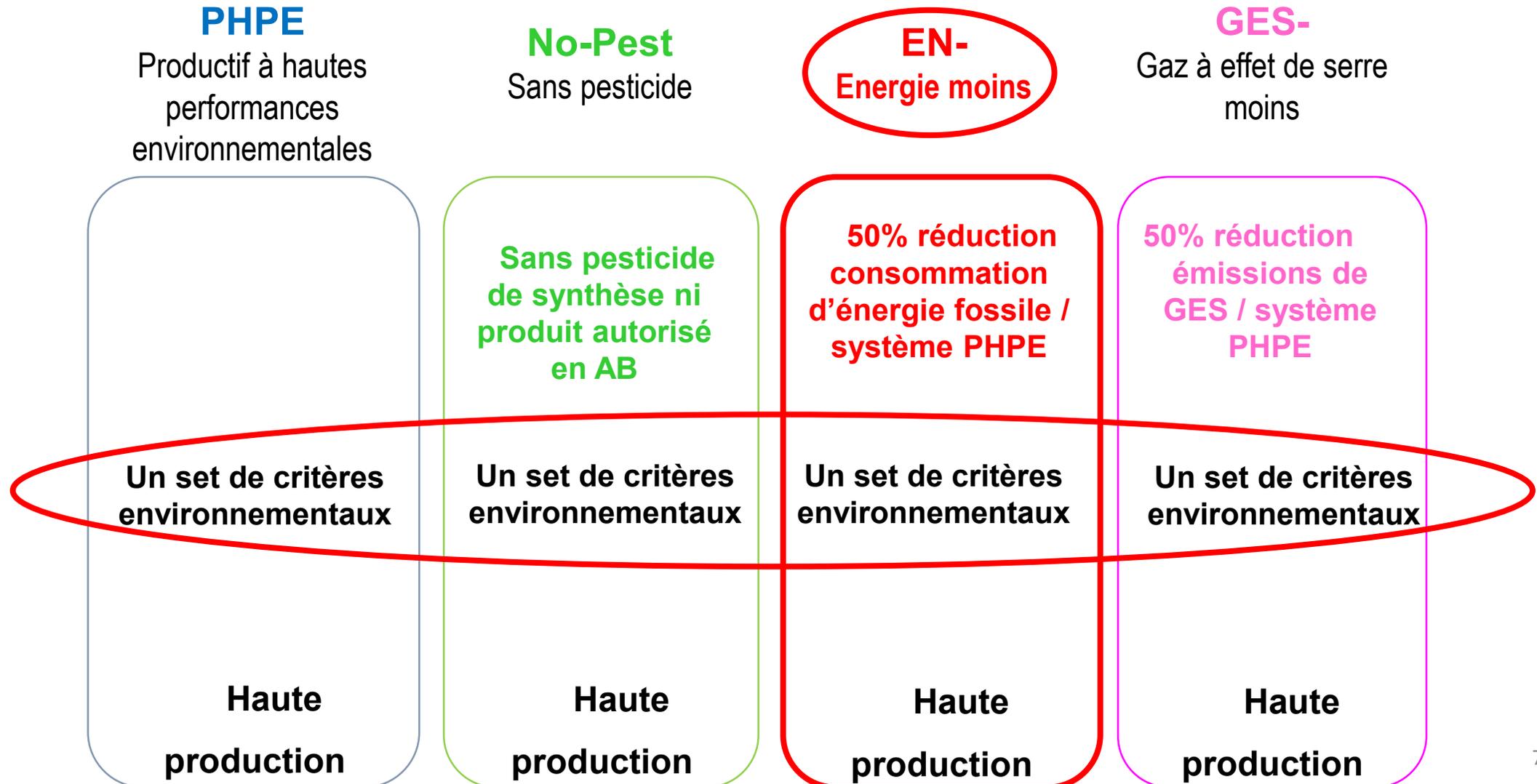
Sans pesticide de synthèse ni produit autorisé en AB

50% réduction consommation d'énergie fossile / système PHPE

50% réduction émissions de GES / système PHPE

Un set de critères environnementaux

# Contraintes et objectifs assignés aux systèmes de culture innovants



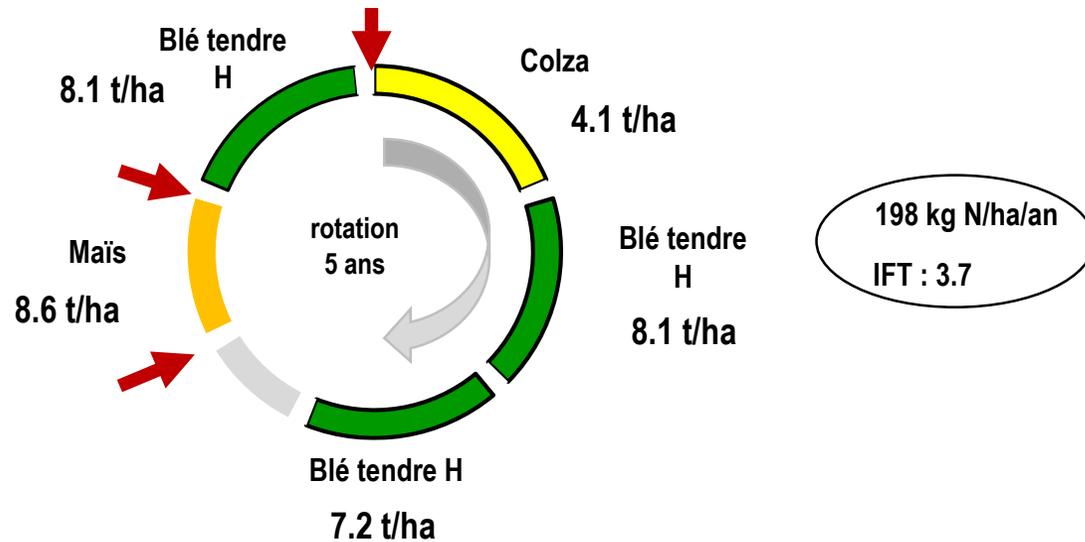
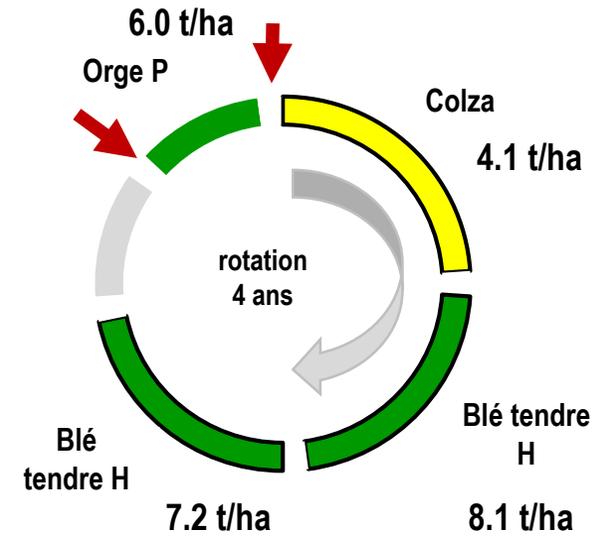
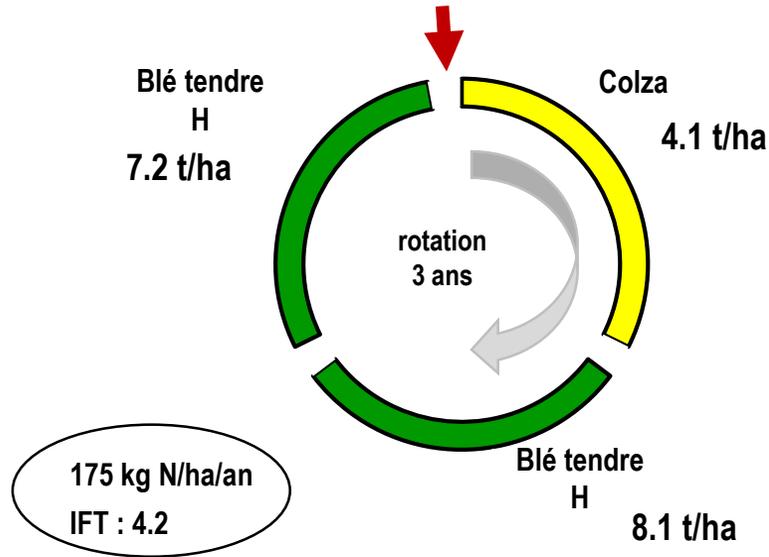
# Dispositif expérimental

- ✓ Ferme AgroParisTech Grignon (78)
- ✓ 6.2 ha
- ✓ Sol : limon profond homogène
- ✓ 3 répétitions
- ✓ 4 systèmes de culture (sdci)
- ✓ Surface parcelle # 4000m<sup>2</sup>
- ✓ Durée : 11 ans (2009-2019)
- ✓ 2 cycles de rotation :
  - complets pour sdc PHPE et EN-,
  - incomplets pour 0Pest et GES- (sans 2020)



# Systemes de culture représentatifs de la zone de production

Plaine de Versailles (2012-2015) (L. Lefèvre, 2015)



Durée des rotations variables  
 Nombreuses céréales à paille d'hiver  
 Labours réguliers ↓  
 Fertilisation azotée (>170kgN/ha/an)  
 Protection phytosanitaire systématique  
 Rendement (t/ha ; 0%)

# Consommations d'énergie fossile

Opérations culturales, intrants : coûts en énergie fossile directe et indirecte (GESTIM, 2019)

Opérations culturales	Consommation d'énergie (MJ/ha)	
	Directe	Indirecte
Labour (charrue 5 socs, tracteur 150 cv : 200 ha/h)	1260	91
Gros cultivateur (tracteur 130 cv : 200 ha/h)	1047	73
Herse rotative (tracteur 130 cv : 80/150 ha/h)	672	90
Combiné de semis (tracteur 130 cv : 120 ha/h)	827	109
Semoir direct (tracteur 90 cv : 120 ha/h)	279	125
Passage épandeur (tracteur 90 cv : 100 ha/h)	126	14
Bineuse (tracteur 90cv : 80 ha/h)	226	46
Herse étrille	61	30
Pulvérisateur (pesticides) (tracteur 90 cv)	65	17
Moissonneuse batteuse (260 cv)	1512	173

Prise en compte de la puissance du tracteur spécifique à chacun des matériels, et des superficies traitées spécifiques à chacune des opérations culturales

Intrants	Consommation d'énergie indirecte
Ammonitrate (33.5%)	15.9 MJ/kg
Urée 46%	28.9 MJ/kg
Super 45 (P)	4.4 MJ/kg
Chlorure de K (40%)	3.0 MJ/ha
H : Roundup max 480 (DH 3 à 4 l/ha)	141.6 MJ/l
H : Bofix (DH 3 l/ha)	76.7 MJ/l
H : Colzor trio (DH colza 4l/ha)	119.5 MJ/l
M : mesuroi pro (DH 3kg/ha)	5.6 MJ/ kg
M : metarex (ino DH 5 kg/ha)	11.5 MJ/ kg
F : amistar (DH BTH 1l/ha)	102.0 MJ/ l
F : caramba star (DH BTH 1l/ha)	18.4 MJ/ l
Semences : céréales (avoine, blé, trit.)	3 à 4 MJ/kg
Semences : colza (lin)	8.5 MJ/kg
Semences : pois	2.6 MJ/kg
Séchage de grains	3.45 GJ/t H <sub>2</sub> O <sup>10</sup>

# Consommations d'énergie fossile

Opérations culturales, intrants : coûts en énergie fossile directe et indirecte (GESTIM, 2019)

Opérations culturales	Consommation d'énergie (MJ/ha)	
	Directe	Indirecte
<b>Labour (charrue 5 socs, tracteur 150 cv : 200 ha/h)</b>	<b>1260</b>	91
<b>Gros cultivateur (tracteur 130 cv : 200 ha/h)</b>	<b>1047</b>	73
Herse rotative (tracteur 130 cv : 80/150 ha/h)	672	90
Combiné de semis (tracteur 130 cv : 120 ha/h)	827	109
Semoir direct (tracteur 90 cv : 120 ha/h)	279	125
Passage épandeur (tracteur 90 cv : 100 ha/h)	126	14
Bineuse (tracteur 90cv : 80 ha/h)	226	46
Herse étrille	61	30
Pulvérisateur (pesticides) (tracteur 90 cv)	65	17
<b>Moissonneuse batteuse (260 cv)</b>	<b>1512</b>	173

Prise en compte de la puissance du tracteur spécifique à chacun des matériels, et des superficies traitées spécifiques à chacune des opérations culturales

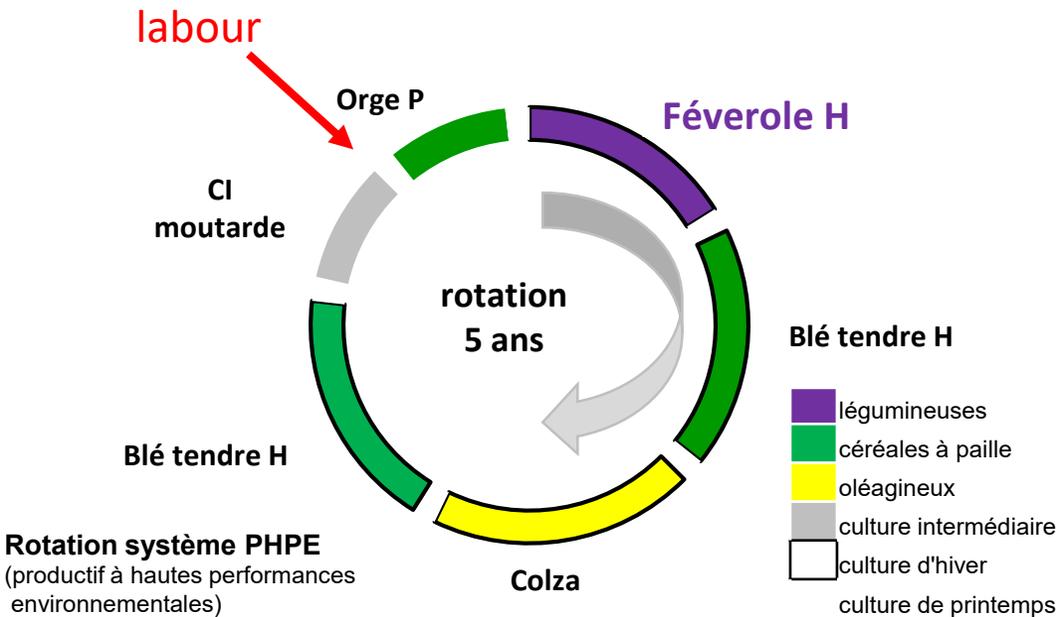
Intrants	Consommation d'énergie indirecte
<b>Ammonitrate (33.5%)</b>	<b>15.9 MJ/kg</b>
<b>Urée 46%</b>	<b>28.9 MJ/kg</b>
Super 45 (P)	4.4 MJ/kg
Chlorure de K (40%)	3.0 MJ/ha
<b>H : Roundup max 480 (DH 3 à 4 l/ha)</b>	<b>141.6 MJ/l</b>
H : Bofix (DH 3 l/ha)	76.7 MJ/l
<b>H : Colzor trio (DH colza 4l/ha)</b>	<b>119.5 MJ/l</b>
M : mesuroi pro (DH 3kg/ha)	5.6 MJ/ kg
M : metarex (ino DH 5 kg/ha)	11.5 MJ/ kg
<b>F : amistar (DH BTH 1l/ha)</b>	<b>102.0 MJ/ l</b>
F : caramba star (DH BTH 1l/ha)	18.4 MJ/ l
Semences : céréales (avoine, blé, trit.)	3 à 4 MJ/kg
Semences : colza (lin)	8.5 MJ/kg
Semences : pois	2.6 MJ/kg
<b>Séchage de grains</b>	<b>3.45 GJ/t H<sub>2</sub>O</b>

# Objectifs et leviers techniques : 2009 - 2019

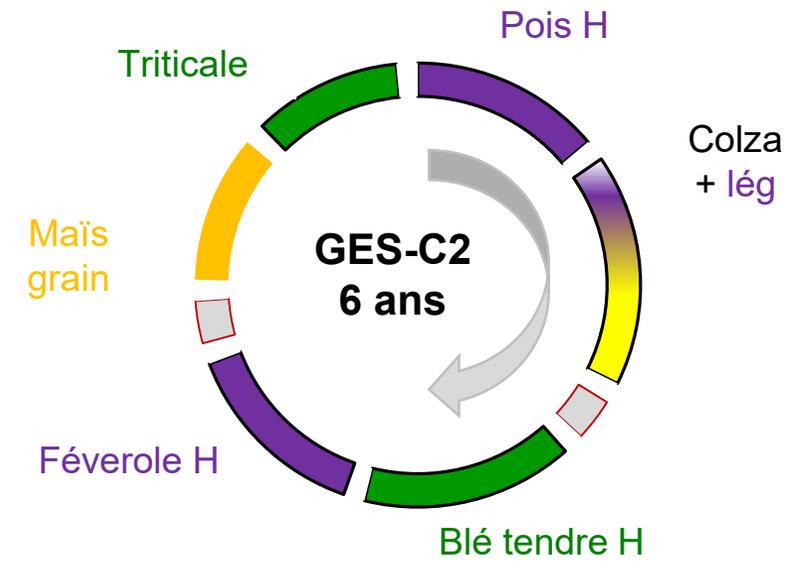
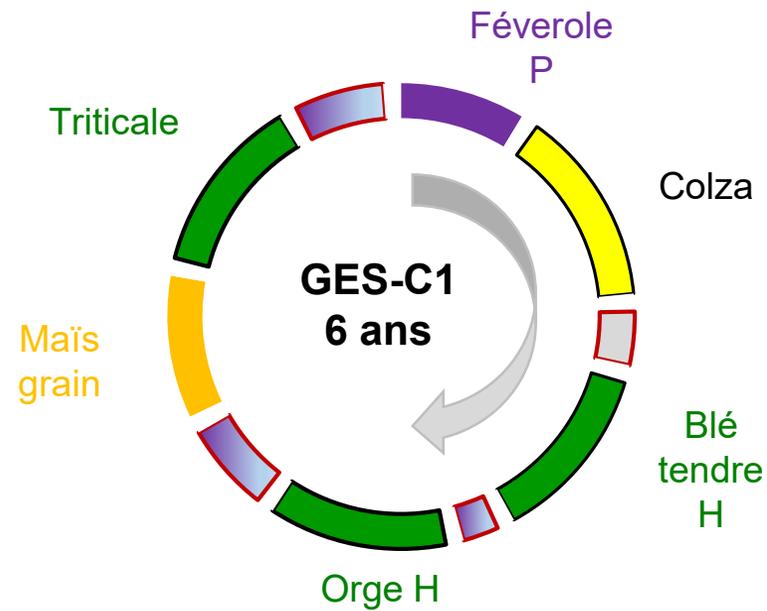
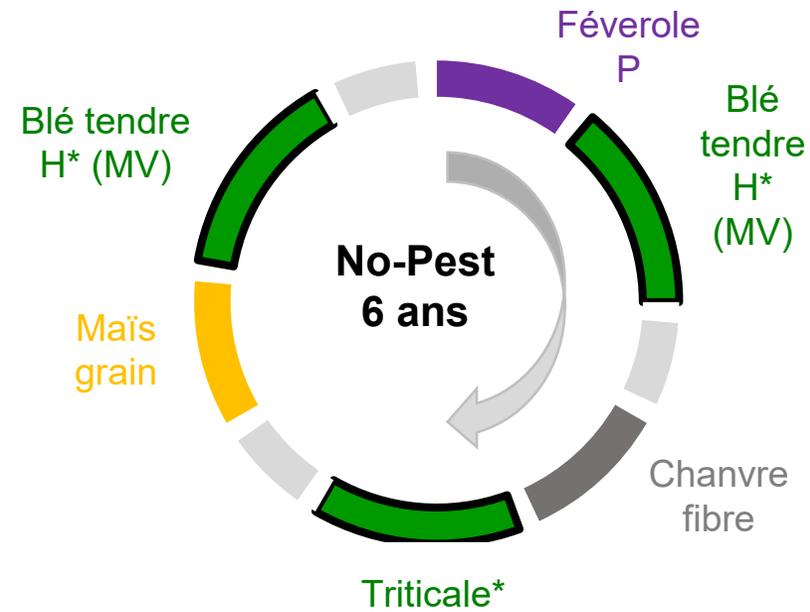
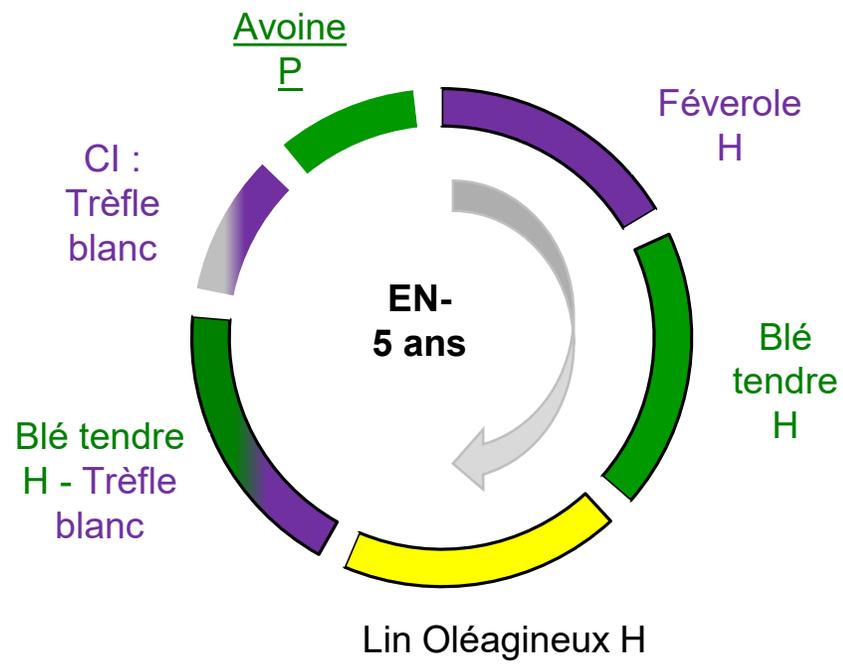
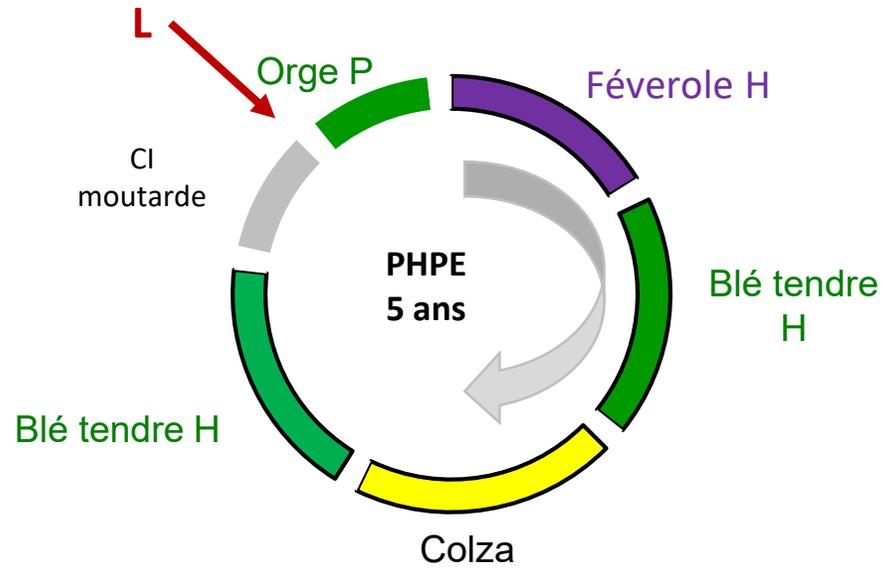
combinés à l'échelle de la succession culturale et de chaque culture

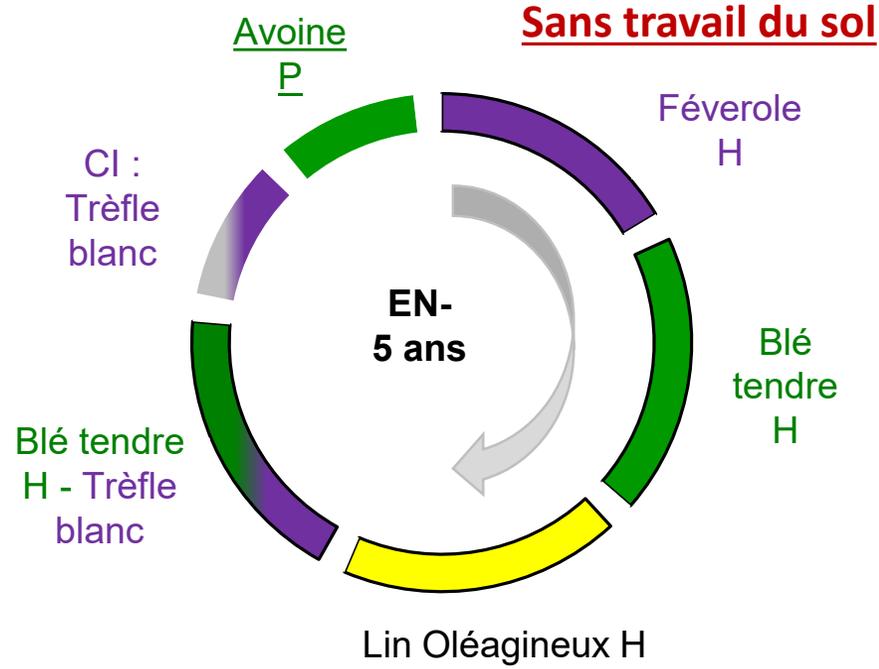
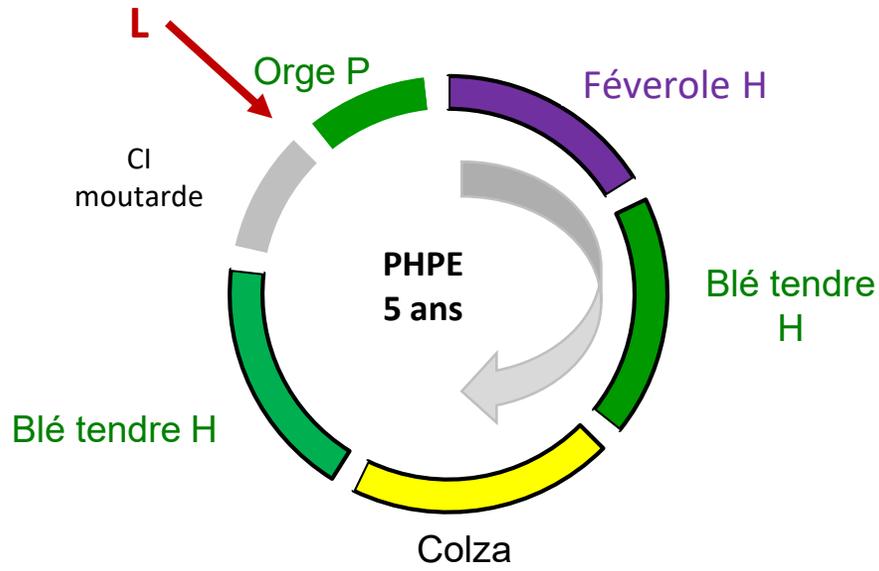
## Satisfaire les critères environnementaux

- ✓ Limiter les pollutions d'origine pesticides : augmenter la diversité des espèces implantées, choisir des variétés résistantes et des dates et densités de semis spécifiques
- ✓ Accroître la diversité des espèces cultivées : nombre élevé d'espèces implantées, allongement de la durée de la rotation
- ✓ **limiter la consommation d'énergie fossile : un seul labour / cycle de rotation – ajouter des légumineuses**
- ✓ Limiter les pertes azotées : implanter des cultures intermédiaires (CI) , planification spécifique de la fertilisation azotée
- ✓ Maintenir la fertilité des sols : restitution de toutes les pailles

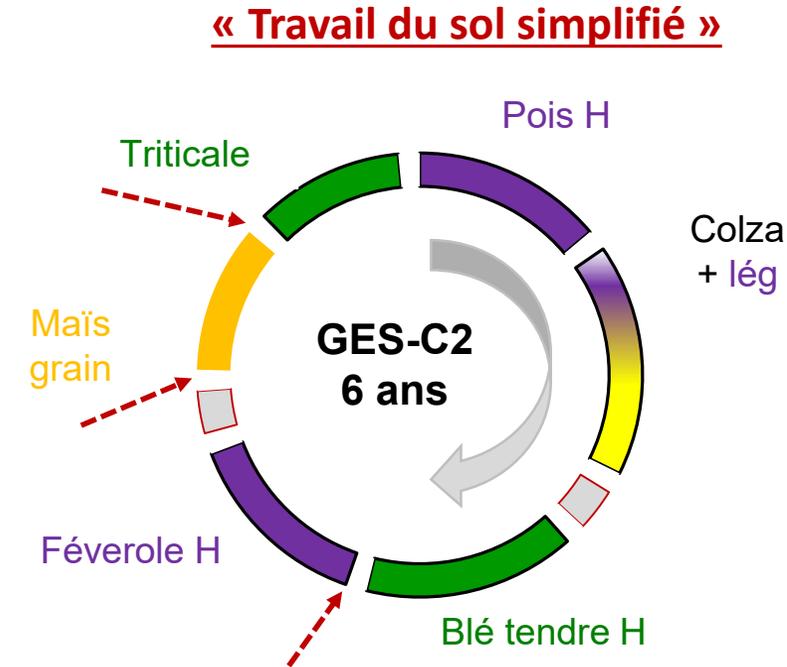
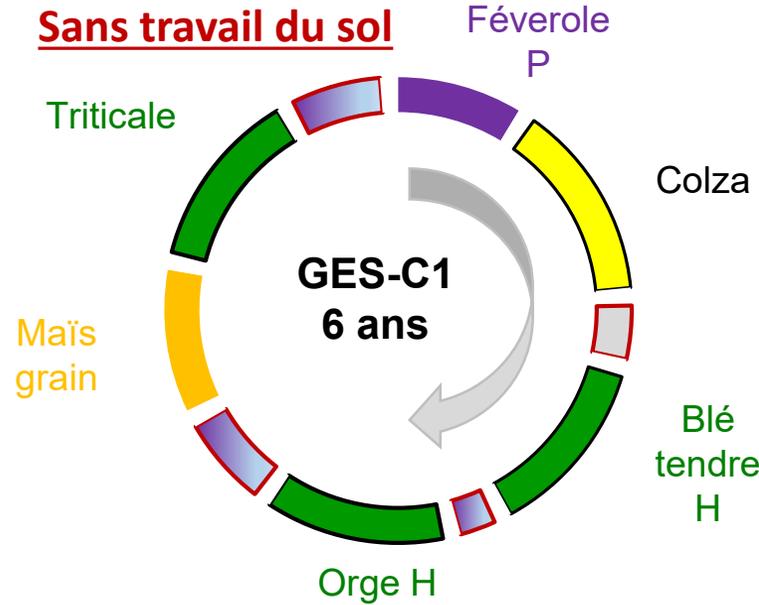
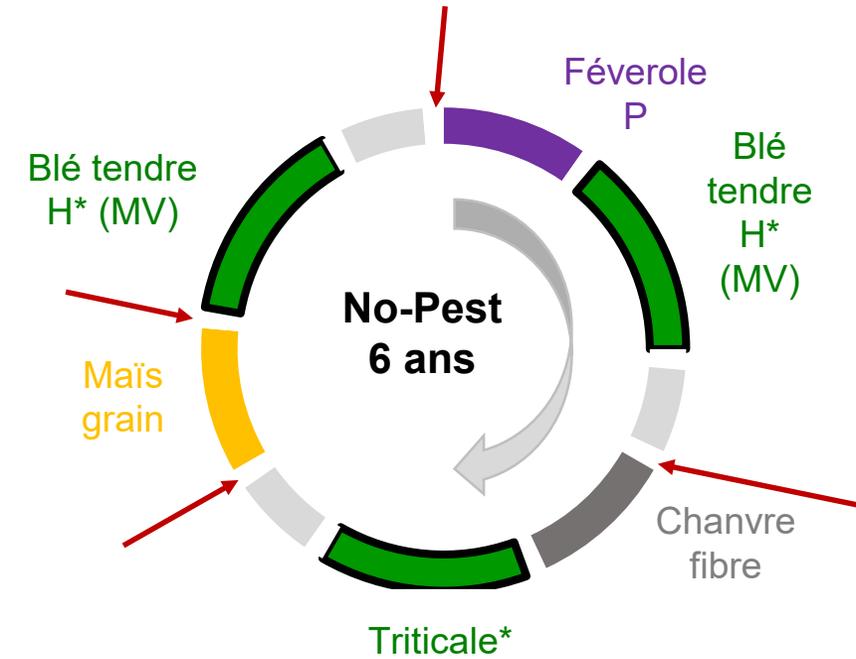


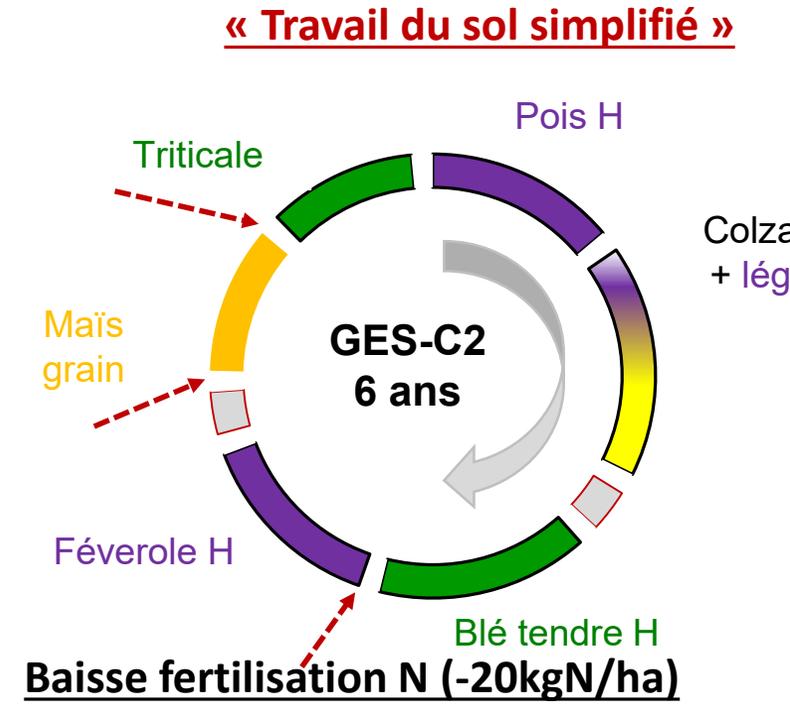
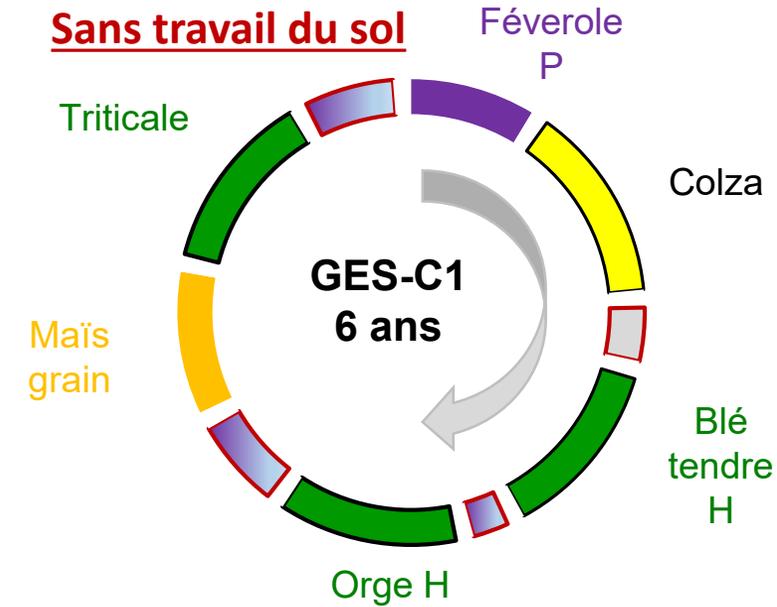
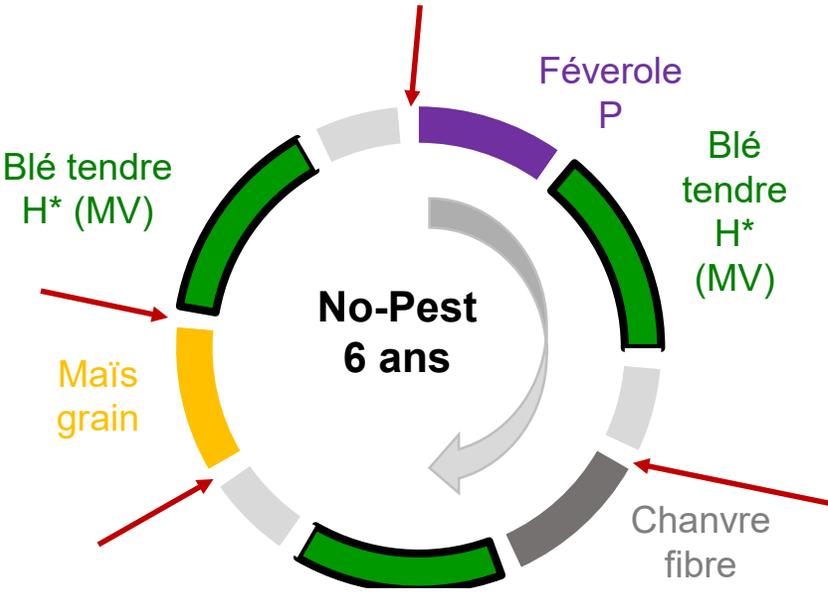
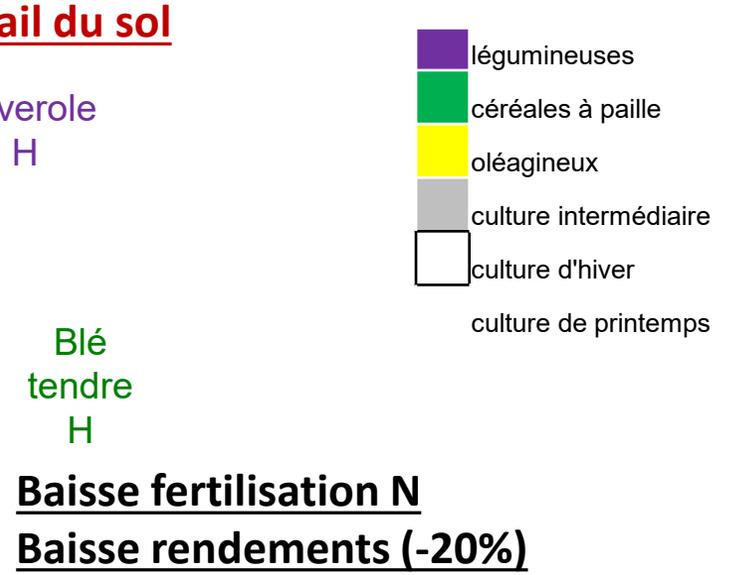
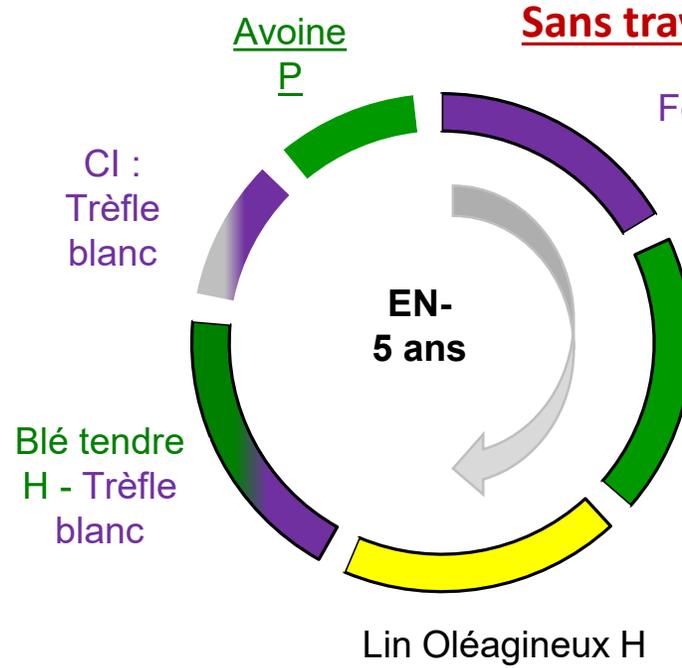
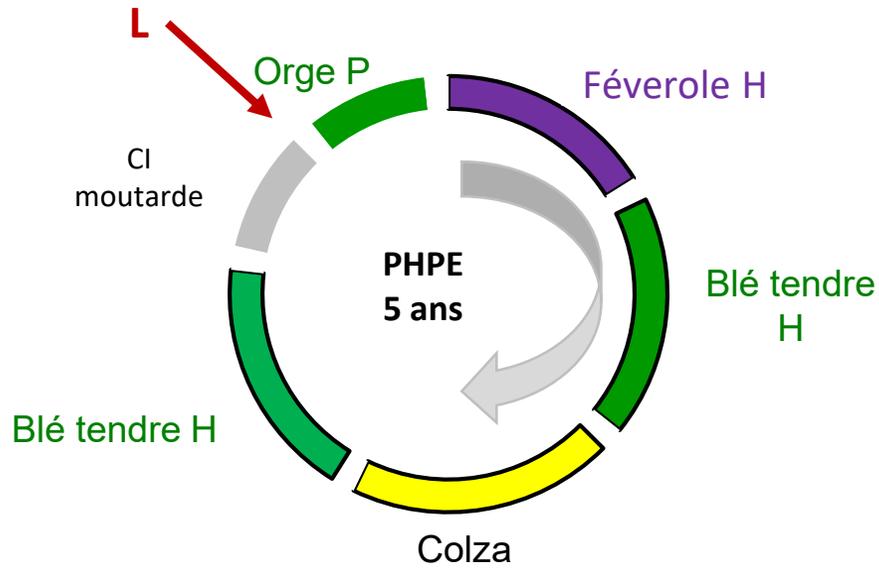
	PHPE	Plaine de Versailles
Nombres d'espèces	6	2 à 4
Durée rotation	5 ans	3 à 5 ans
Nombre de labours	1/5 ans	1/3 ans à 2/3 ans
Implantation légumineuse	1/ 5 ans	Aucune
Culture intermédiaire	Oui	Non
<b>Restitution des pailles</b>	<b>Oui</b>	<b>Oui</b>





- légumineuses
- céréales à paille
- oléagineux
- culture intermédiaire
- culture d'hiver
- culture de printemps





**Sans pesticides**  
**Baisse rendements**

**Rendements # PHPE**

**Baisse fertilisation N (-20kgN/ha)**

# Méthodes de calcul

## Consommations d'énergie fossile (GESTIM, 2019)

- Energie directe : carburants, lubrifiants et électricité utilisés pour alimenter les machines agricoles et les tracteurs
- Energie indirecte : fabrication, formulation, emballage et entretien des intrants (engins agricoles, engrais ou pesticides)

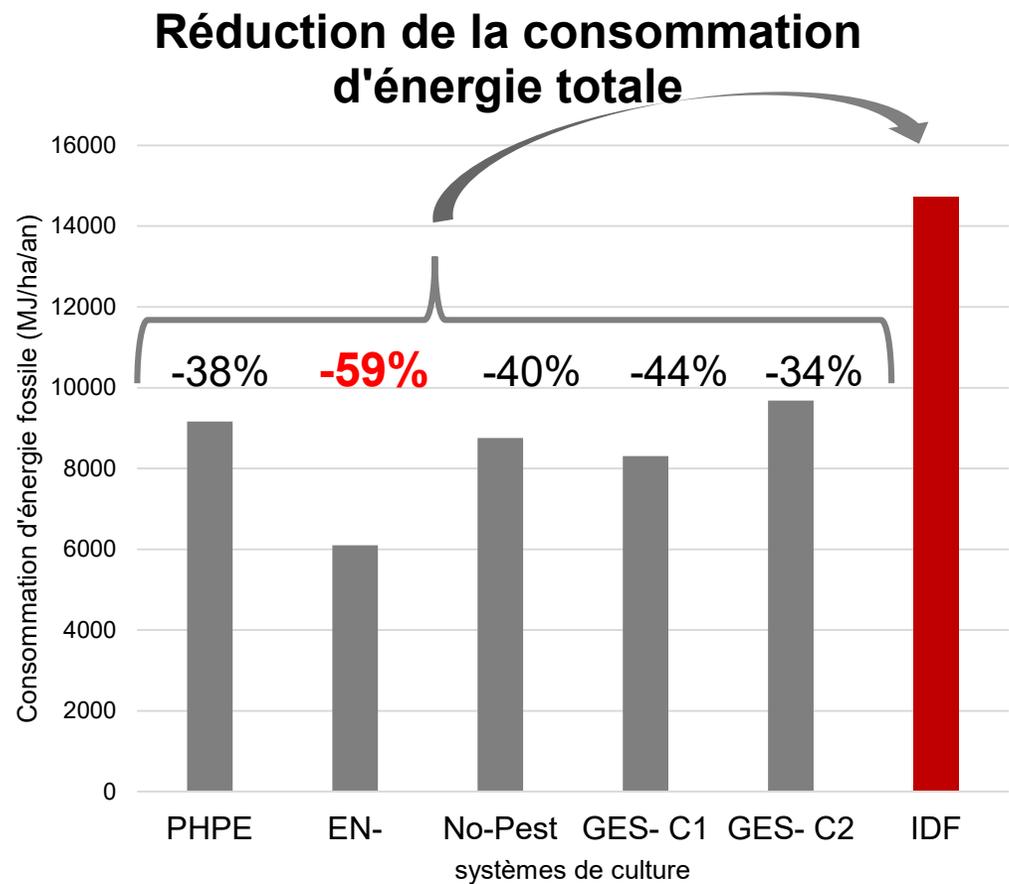
## Production d'énergie (GESTIM, 2019)

- Production énergétique brute des produits récoltés

Consommations et productions : MJ / ha / an, moyennées sur 11 ans (sauf GES)

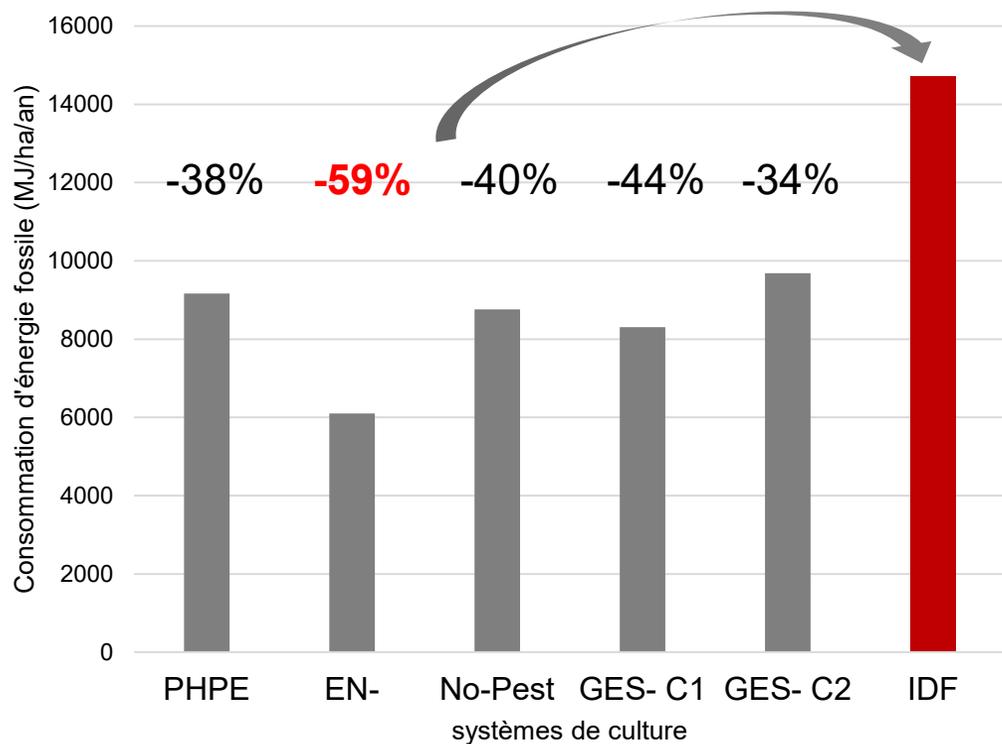
Efficiency énergétique : ratio annuel (production / consommation), moyennés sur 11 ans (sauf GES)

→ **Consommations d'énergie totale des sdc innovants très inférieures à celles des sdc locaux**

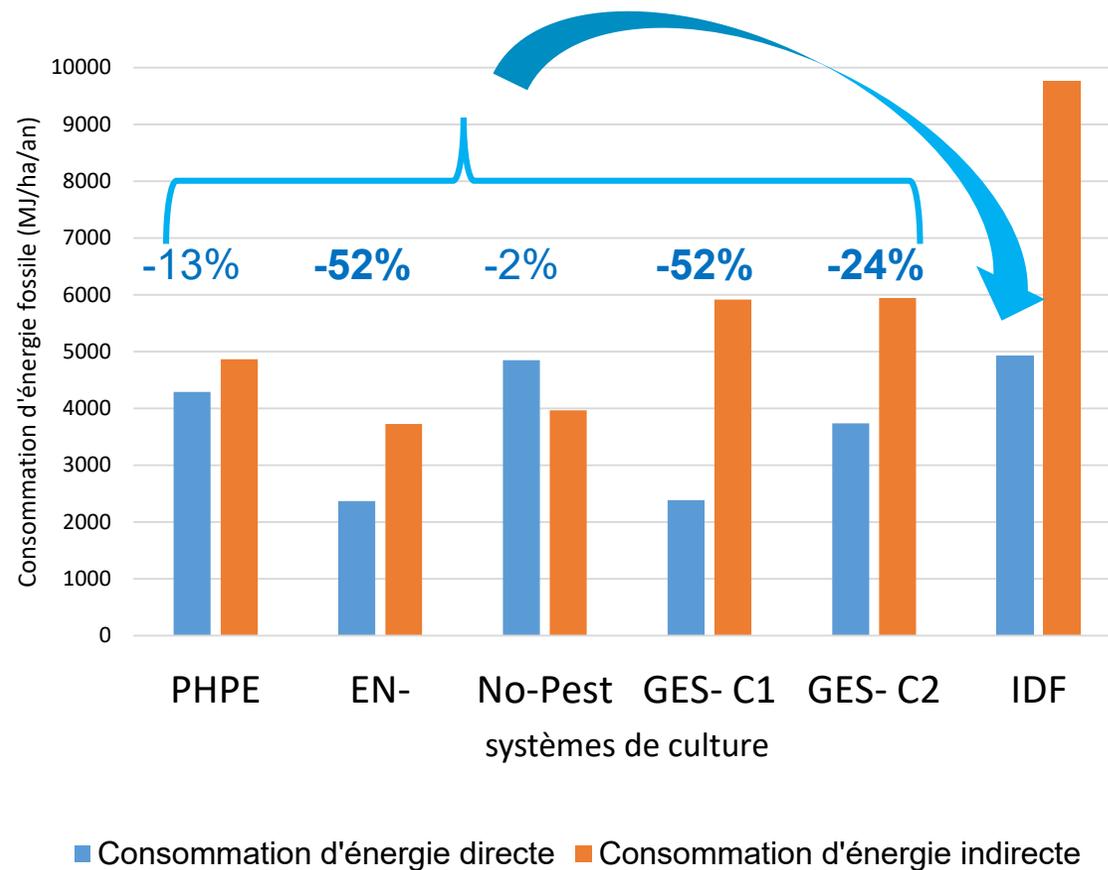


# → Consommations d'énergie directe des sdc innovants sans travail du sol très inférieures à celles des sdc locaux

## Réduction de la consommation d'énergie totale

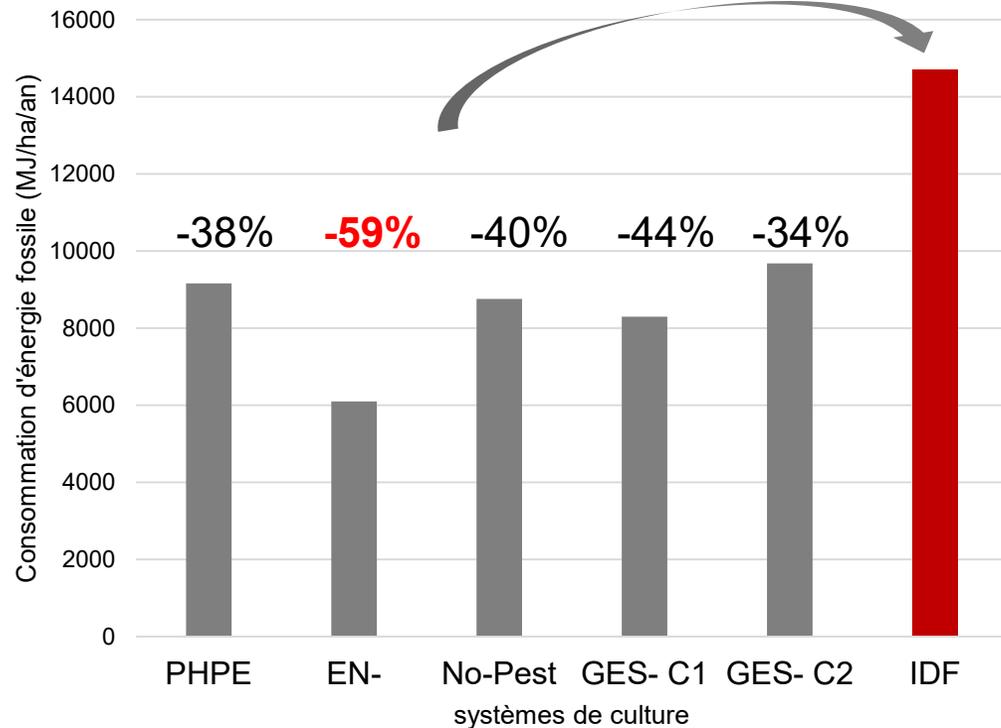


## Réduction de la consommation d'énergie directe

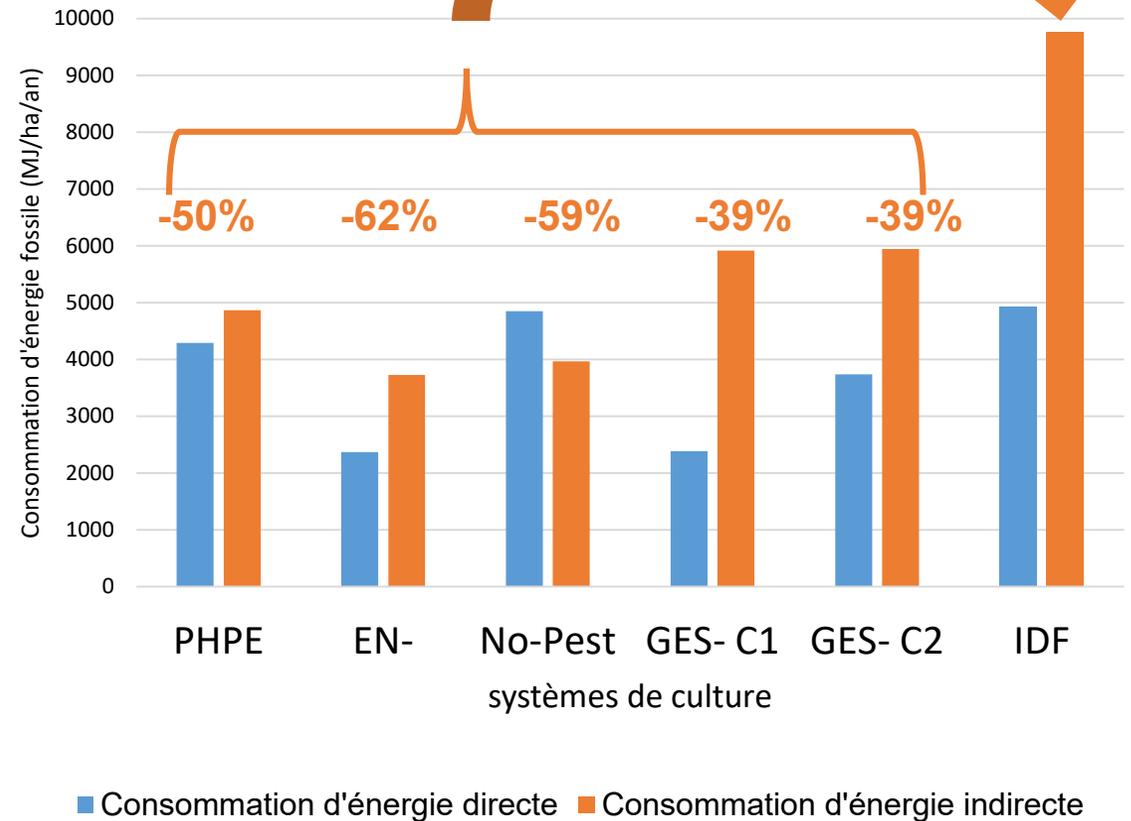


→ **Consommations d'énergie indirecte des sdc innovants beaucoup plus faibles que celles des sdc locaux**

### Réduction de la consommation d'énergie totale

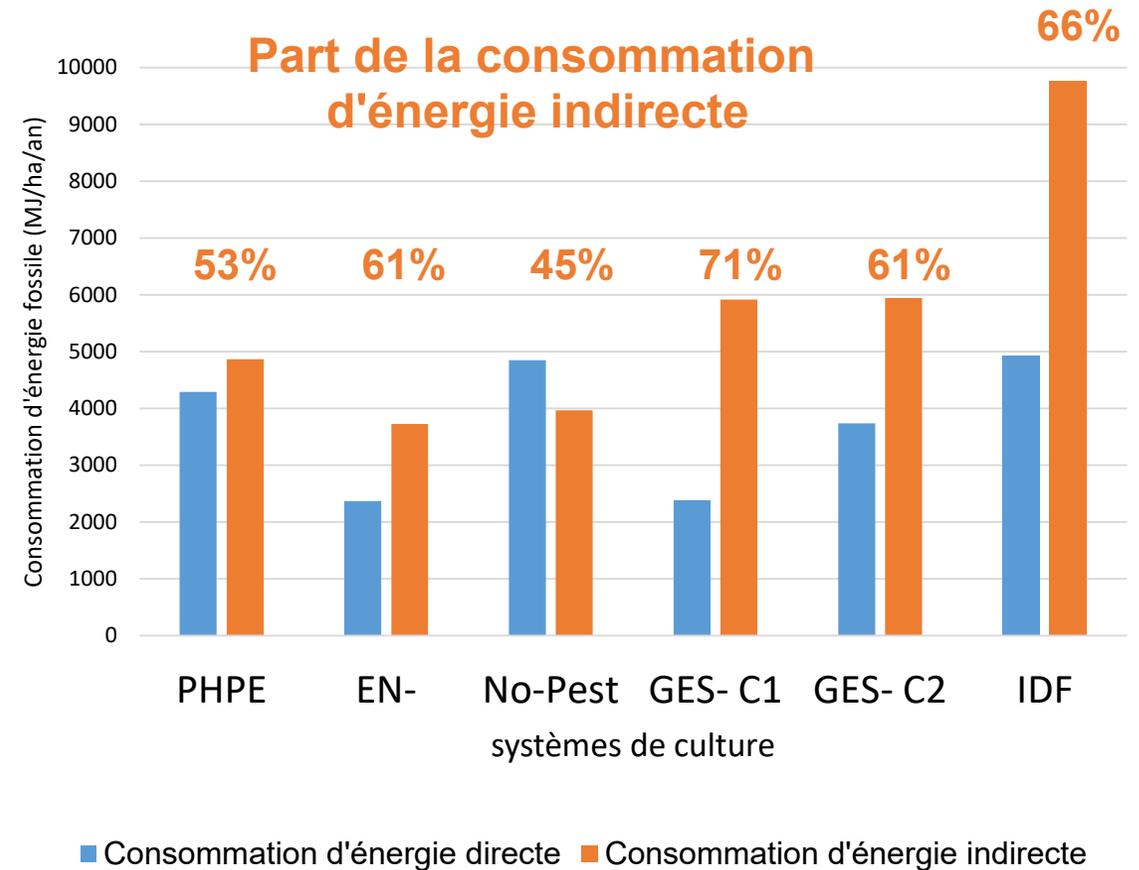
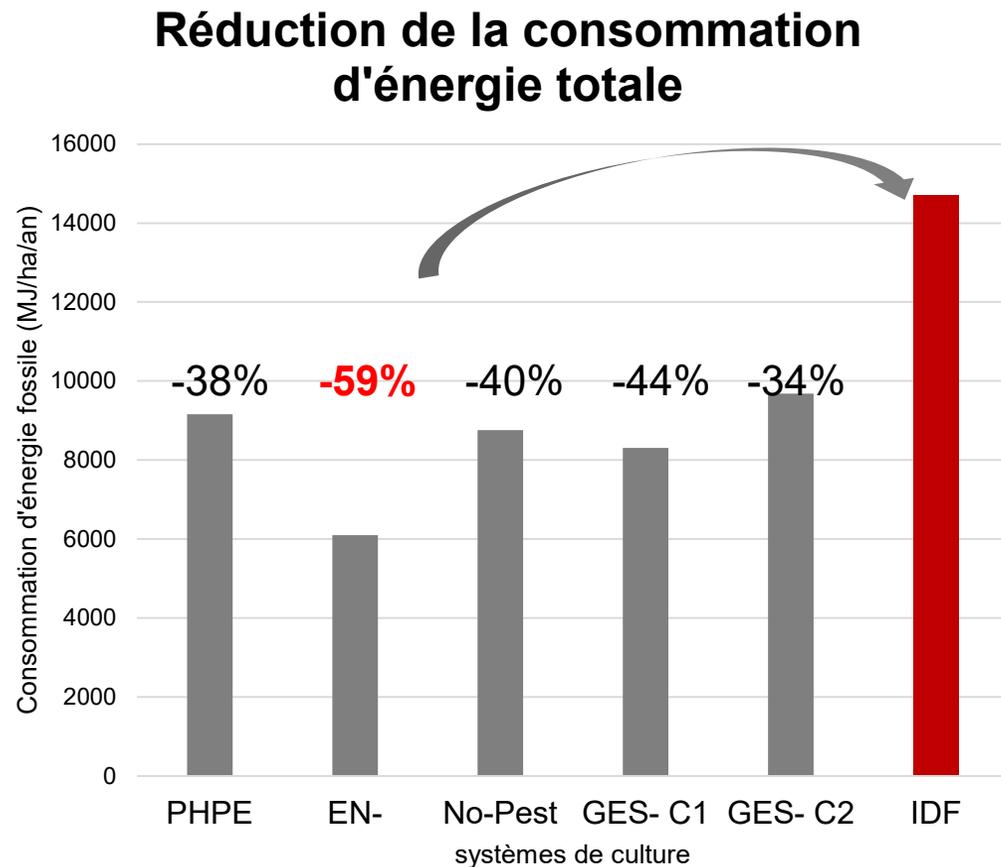


### Réduction de la consommation d'énergie indirecte

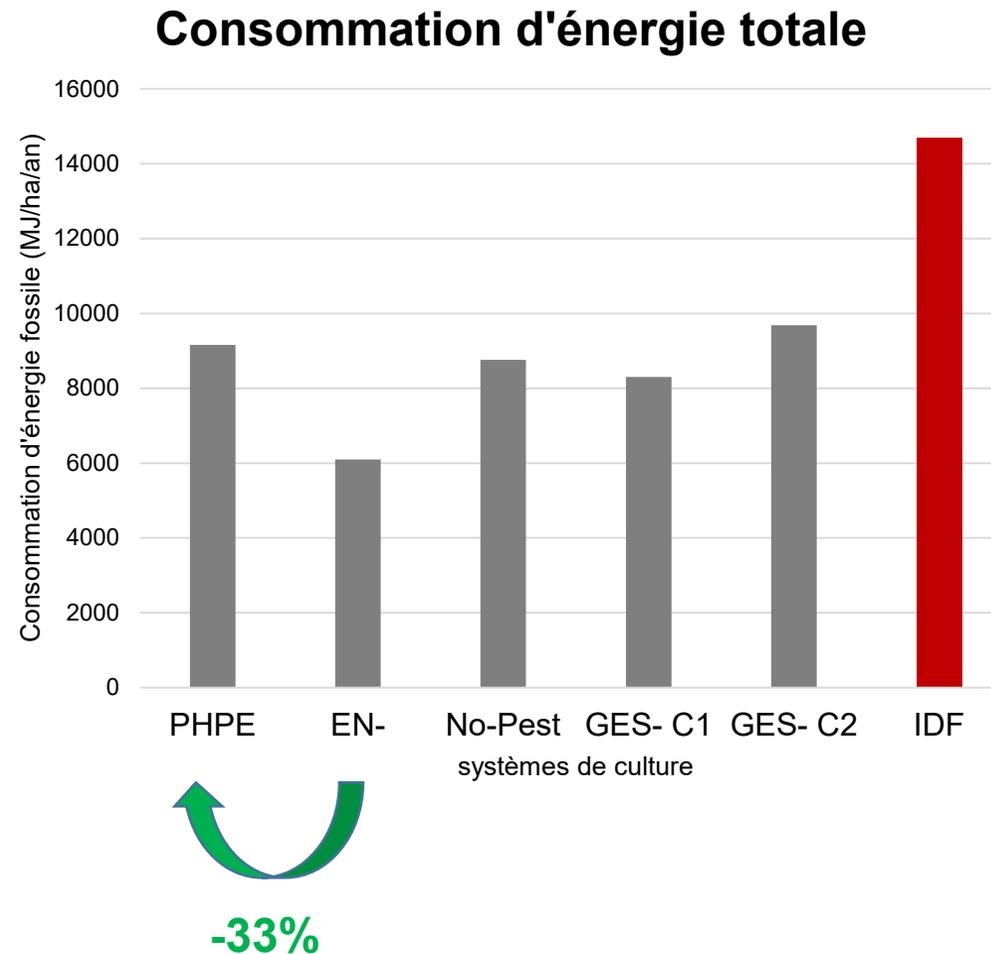


■ Consommation d'énergie directe ■ Consommation d'énergie indirecte

→ **Part majoritaire de la consommation d'énergie indirecte**, excepté dans sdci No-Pest  
(consommation d'énergie directe proche entre PHPE et No-Pest)

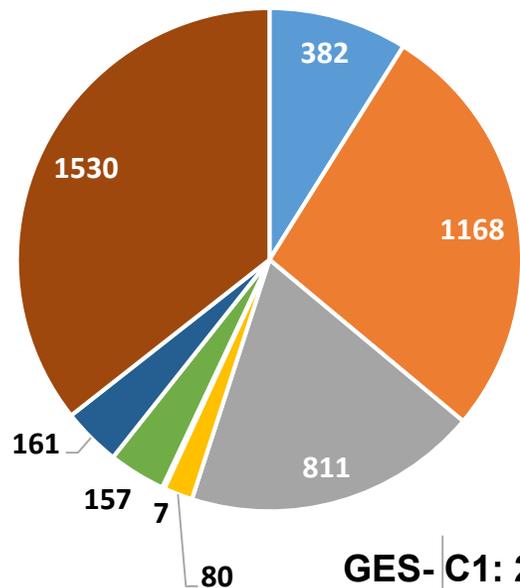


→ Consommation d'énergie totale du sdci EN- très inférieure à celle du sdci PHPE

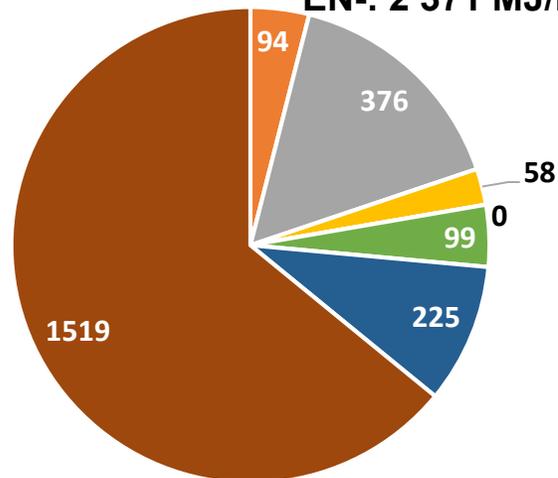


# Répartition de la consommation d'énergie directe entre postes

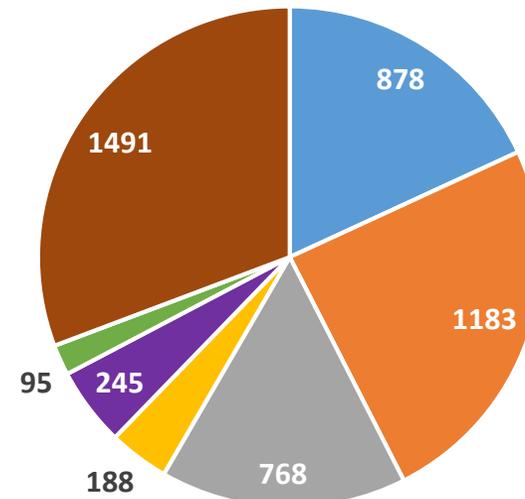
**PHPE: 4 294 MJ/ha/an**



**EN-: 2 371 MJ/ha/an**

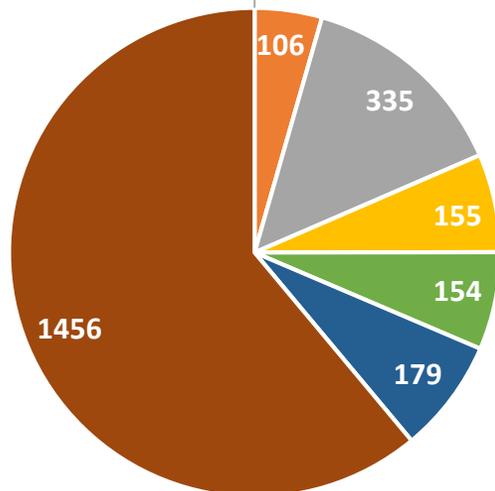


**No-Pest: 4 849 MJ/ha/an**

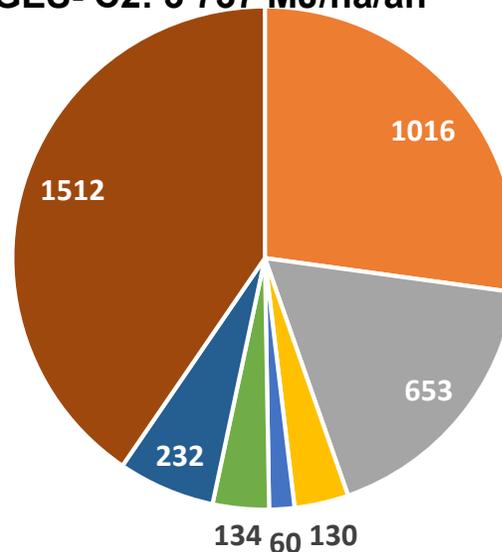


- ED labour
- ED travail sol
- ED semis
- ED semis CI
- ED désh méca
- ED fertilisation
- ED pesticide
- ED récolte

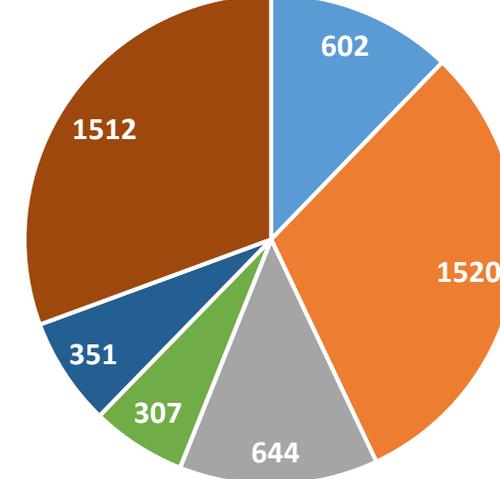
**GES- C1: 2 386 MJ/ha/an**



**GES- C2: 3 737 MJ/ha/an**

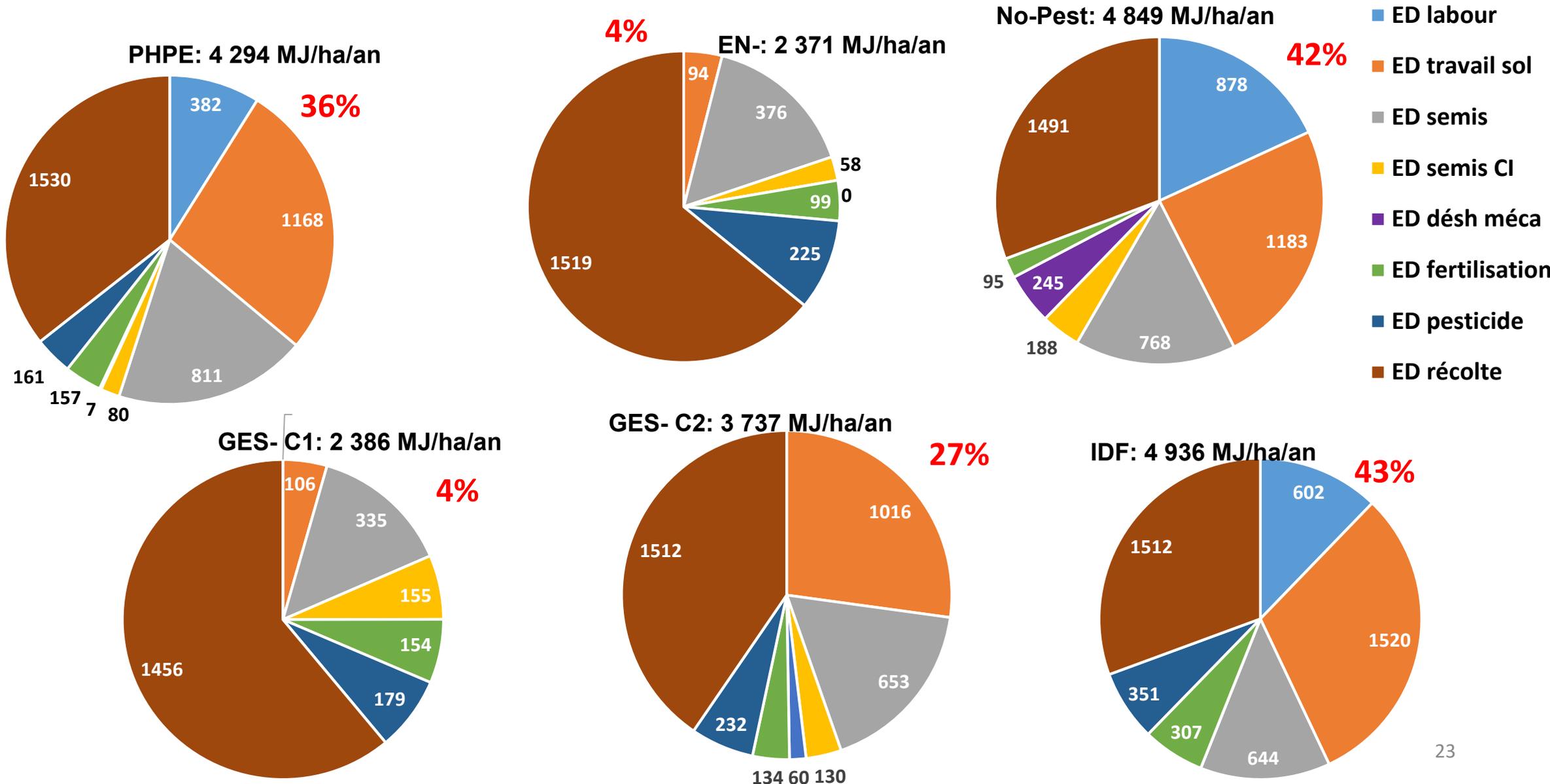


**IDF: 4 936 MJ/ha/an**



# Consommation d'énergie directe

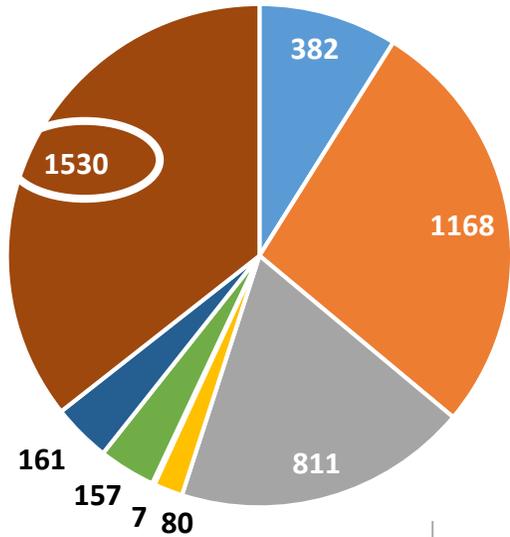
→ part variable du travail du sol, incluant le labour, selon sdc



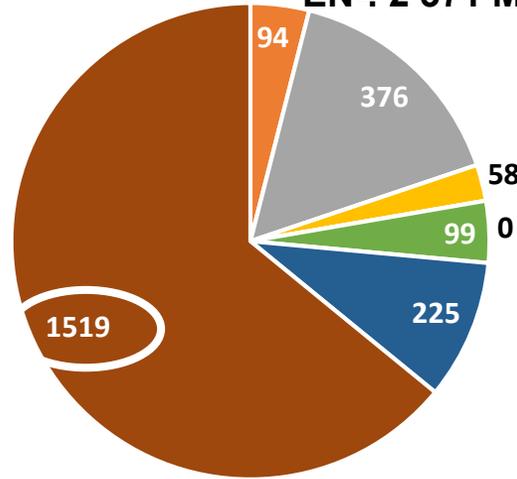
# Consommations d'énergie directe

→ importance des récoltes dans tous les sdc (31% à 64%)

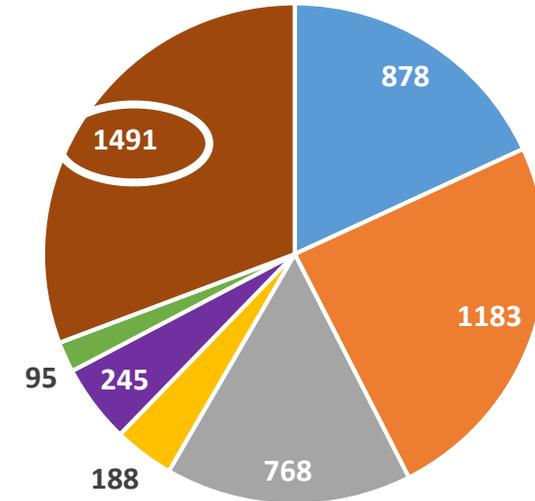
**PHPE: 4 294 MJ/ha/an**



**EN-: 2 371 MJ/ha/an**

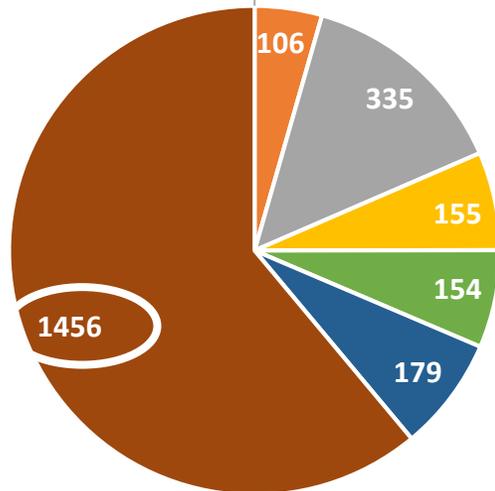


**No-Pest: 4 849 MJ/ha/an**

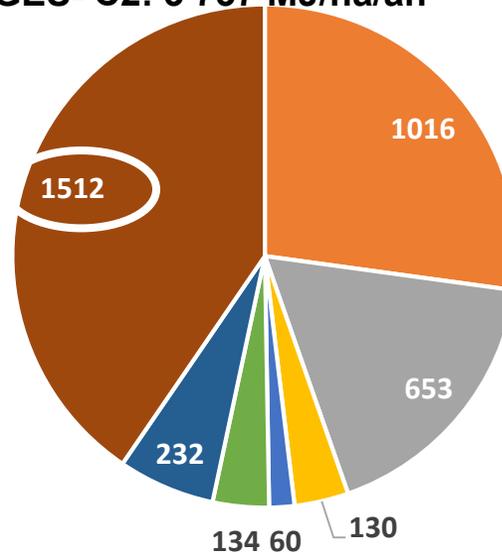


- ED labour
- ED travail sol
- ED semis
- ED semis CI
- ED désh méca
- ED fertilisation
- ED pesticide
- ED récolte

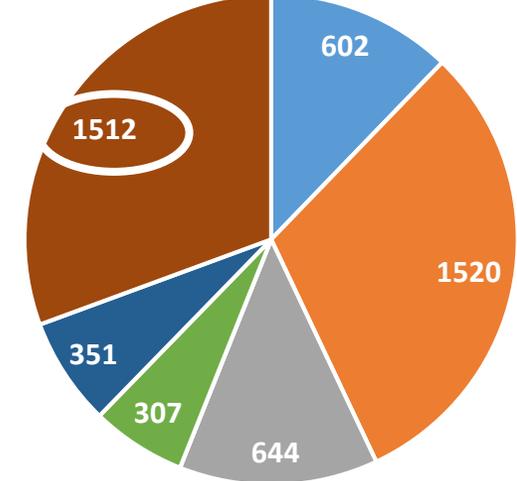
**GES- C1: 2 386 MJ/ha/an**



**GES- C2: 3 737 MJ/ha/an**

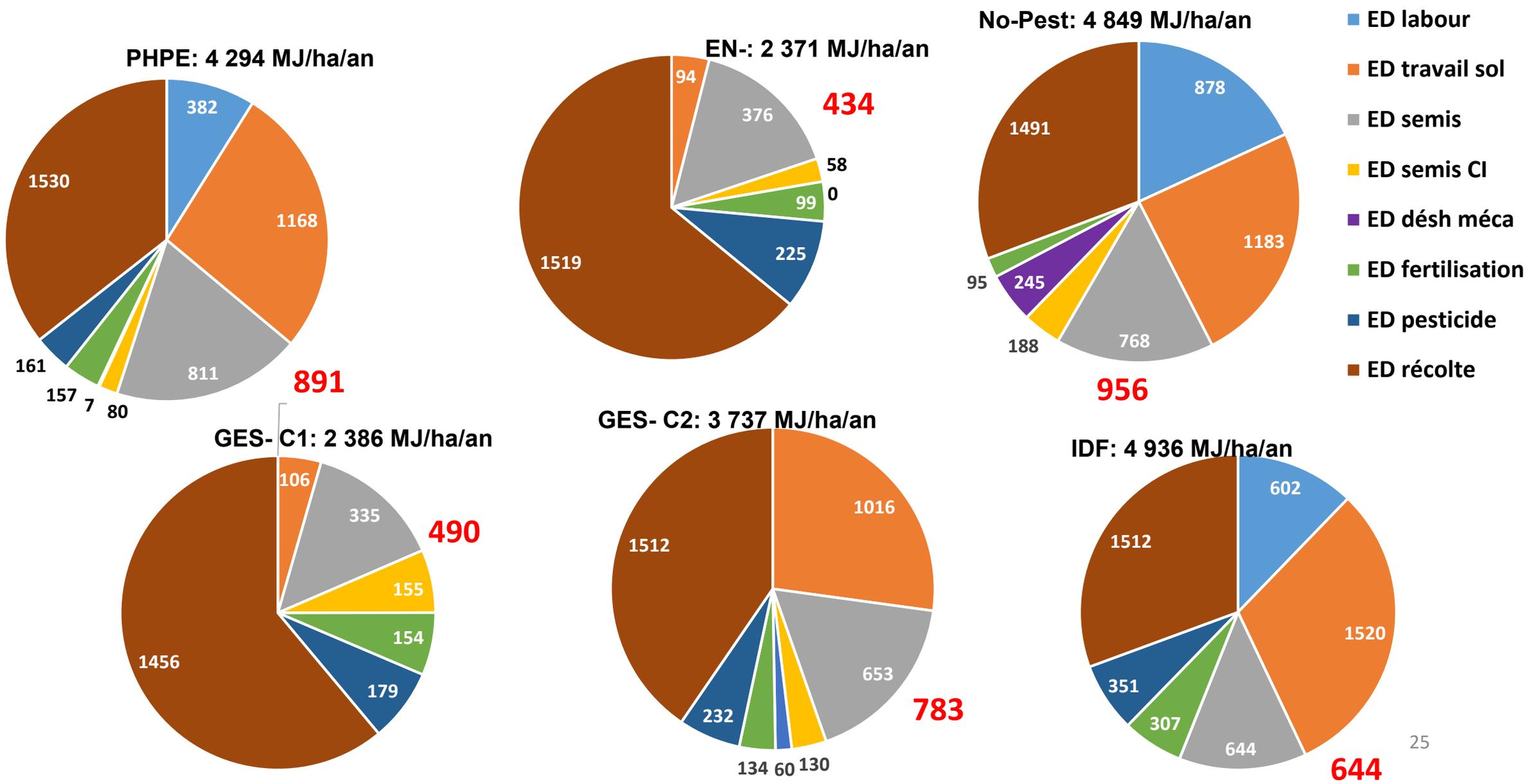


**IDF: 4 936 MJ/ha/an**



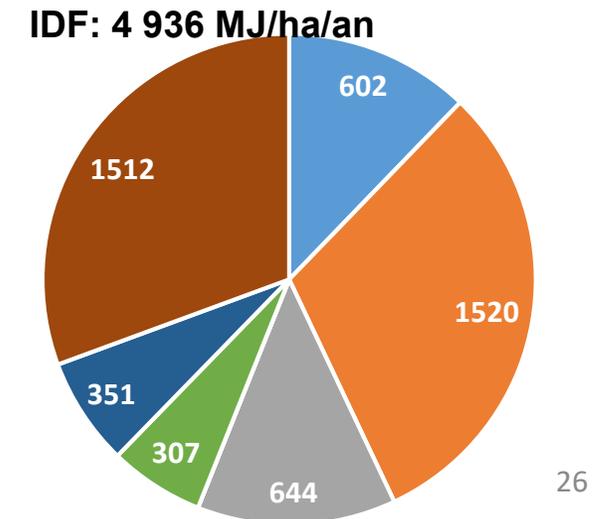
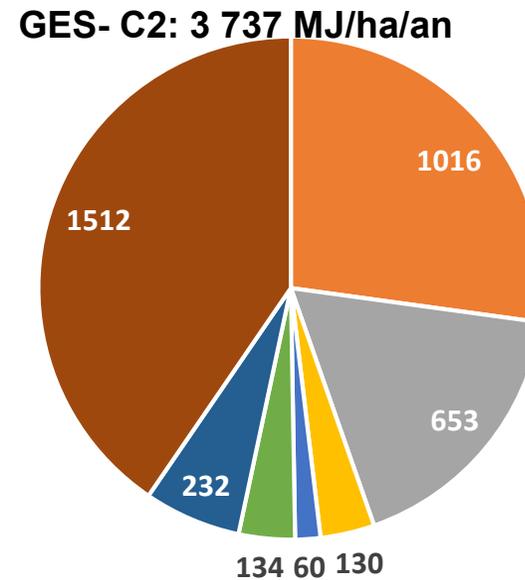
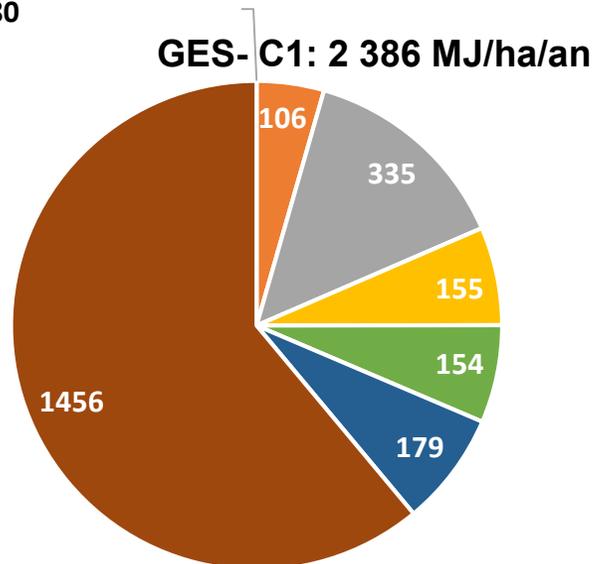
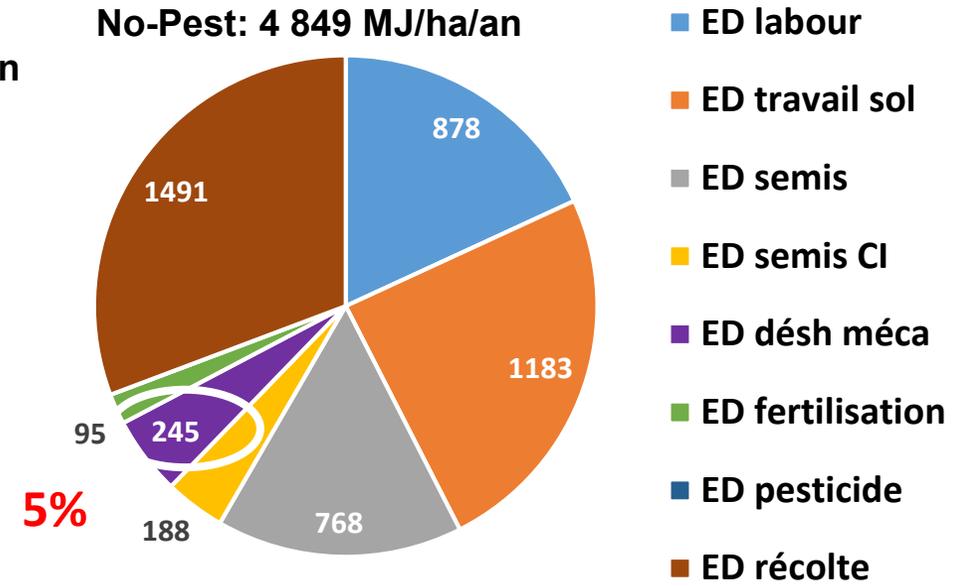
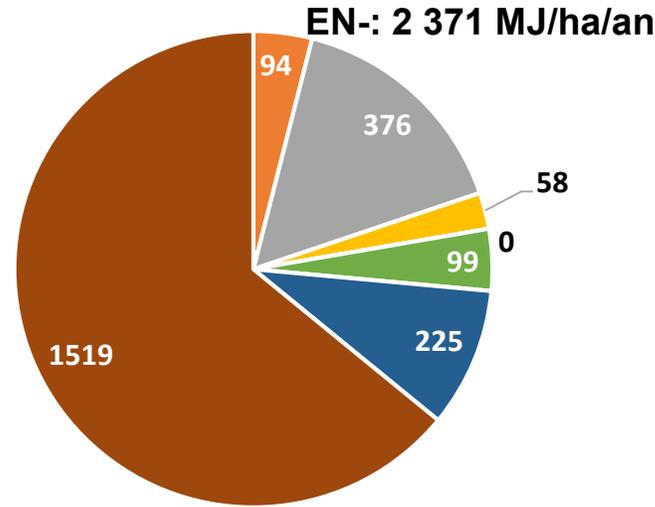
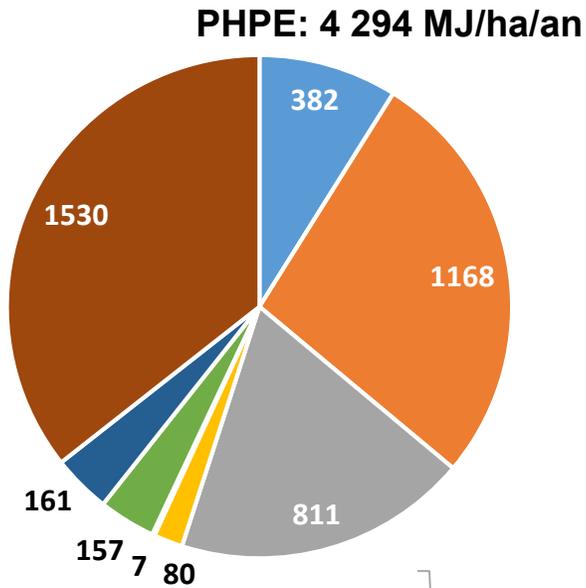
# Consommations d'énergie directe

→ parts plus faibles des semis dans sdc EN- et GES-C1 (non travail du sol)



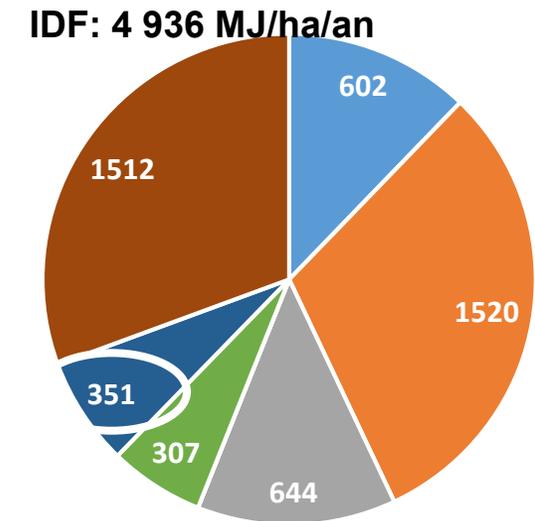
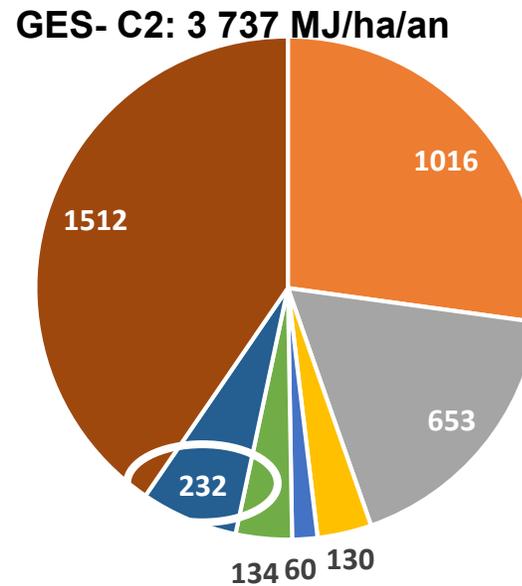
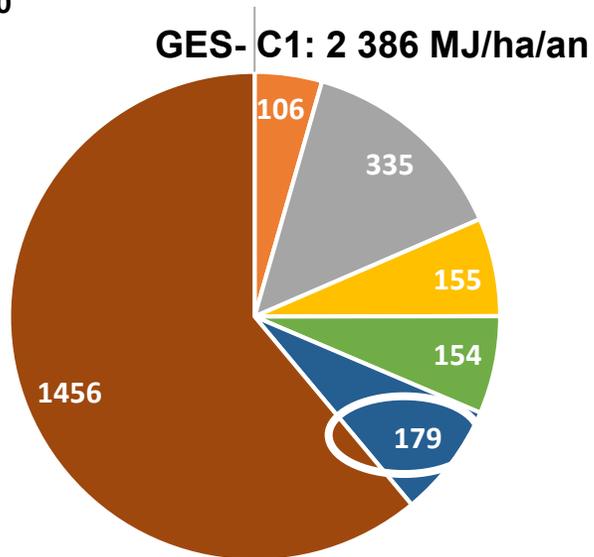
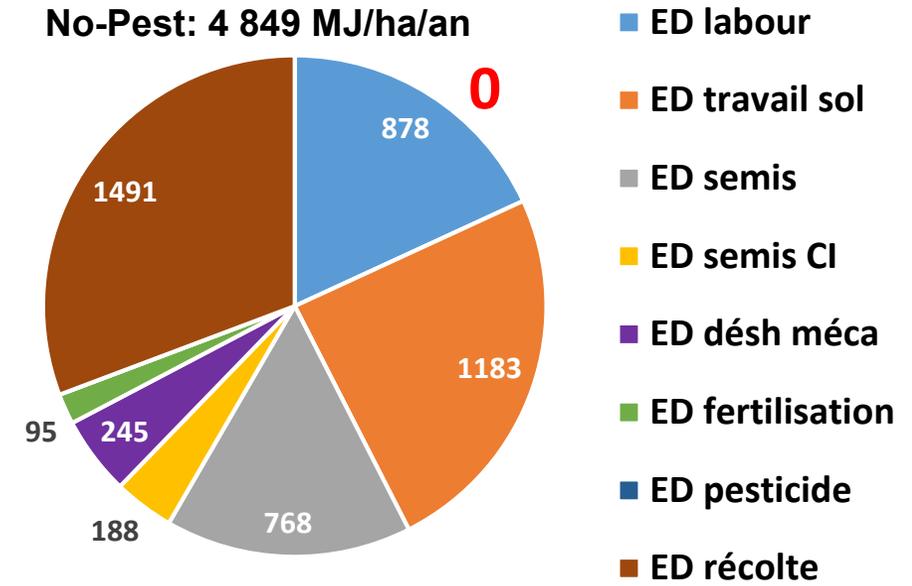
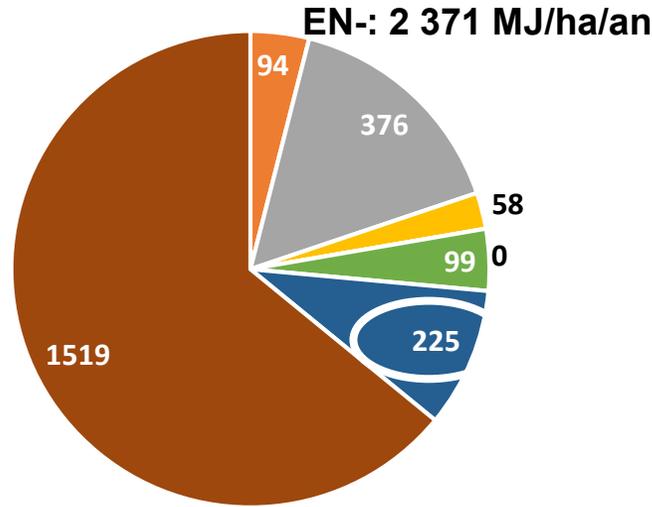
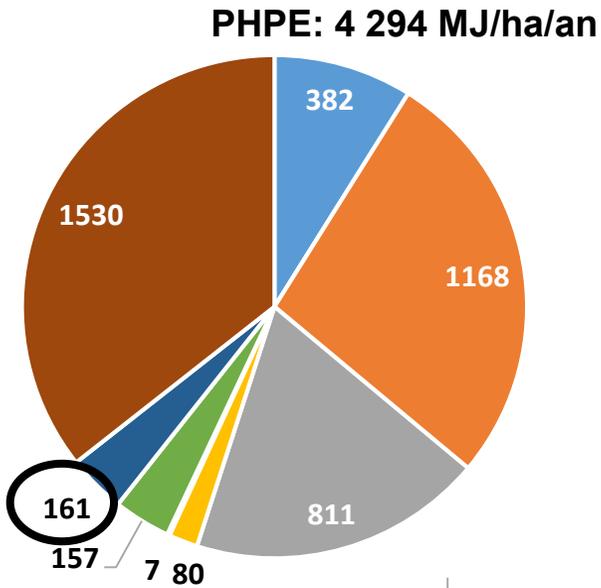
# Consommation d'énergie directe : quelques spécificités

## → désherbage mécanique dans le sdc No-Pest

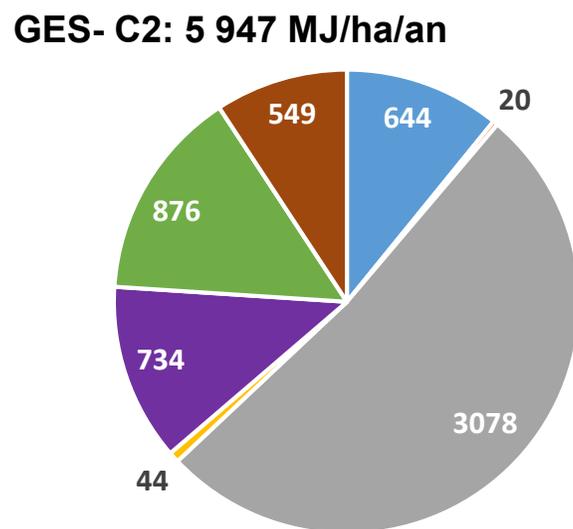
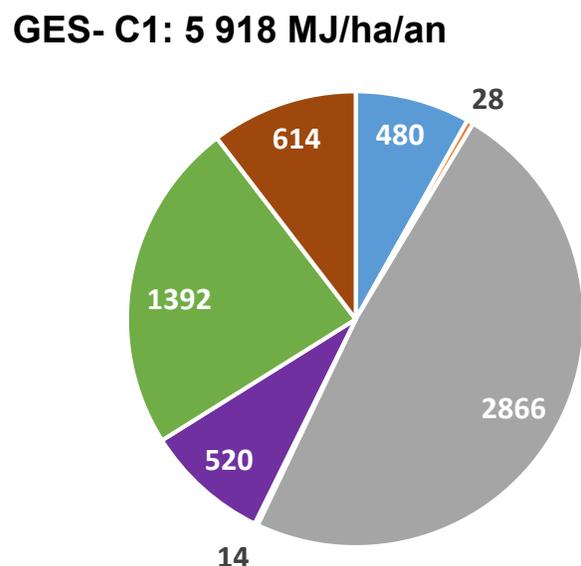
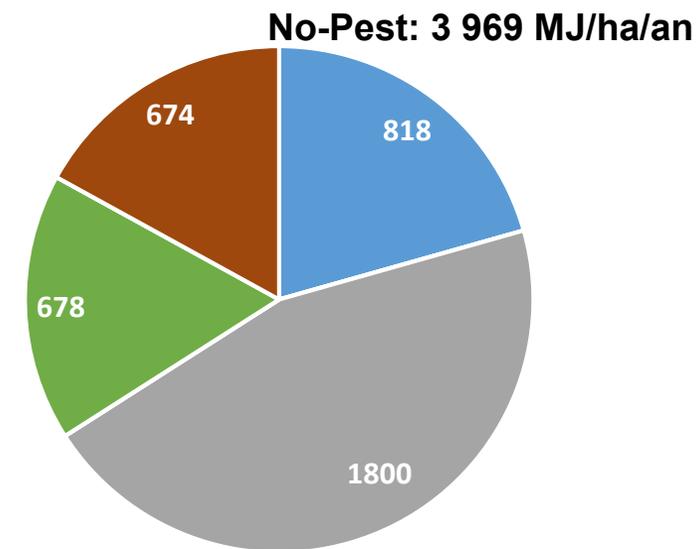
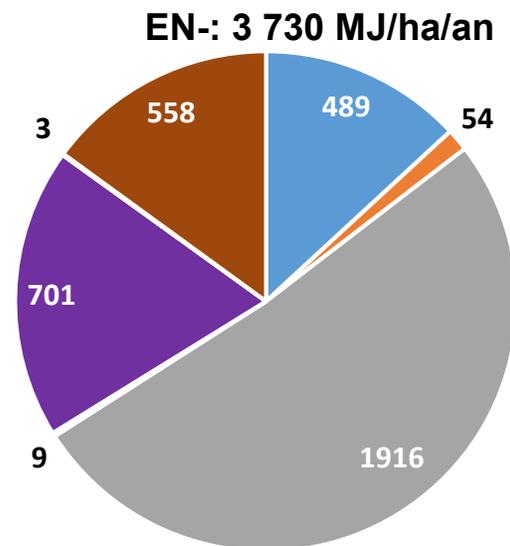
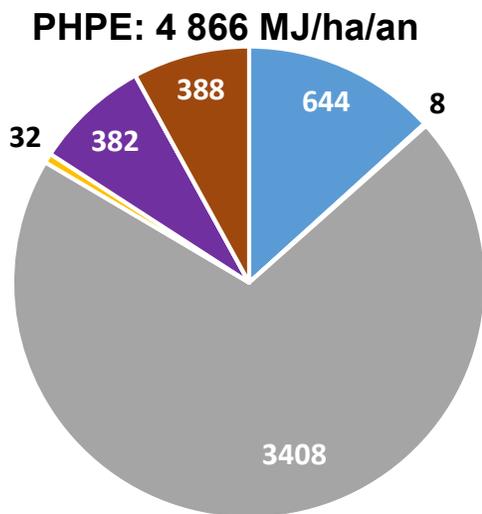


# Consommation d'énergie directe : quelques spécificités

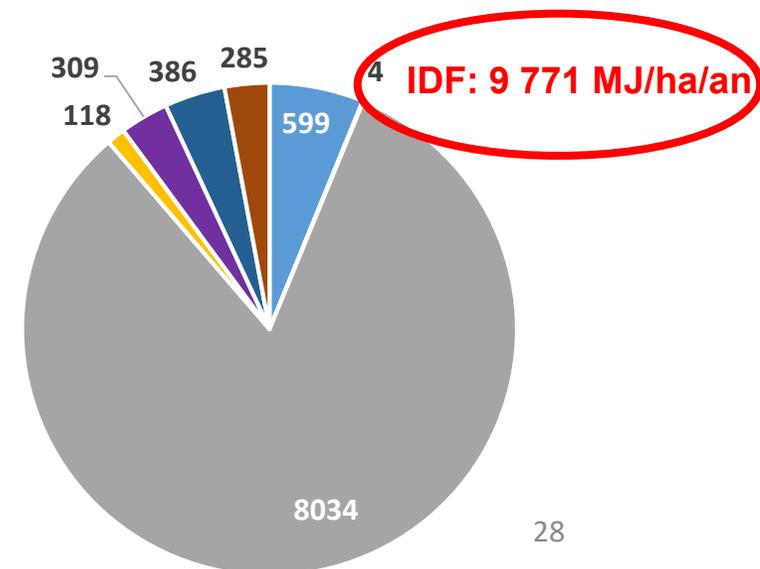
→ quantités variables liées aux apports de pesticides selon les sdc



# Consommation d'énergie indirecte, répartition entre postes → Quantités beaucoup plus élevées dans les sdc locaux

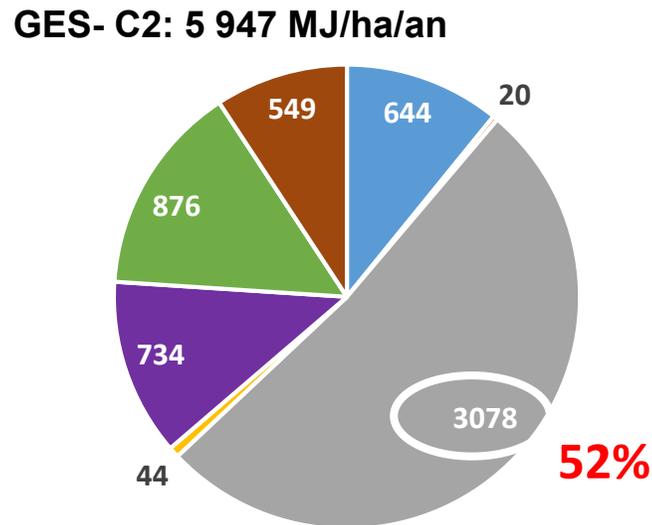
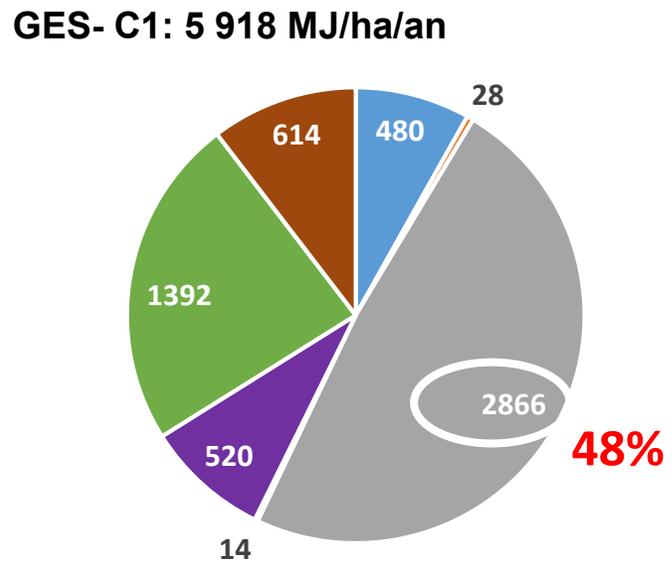
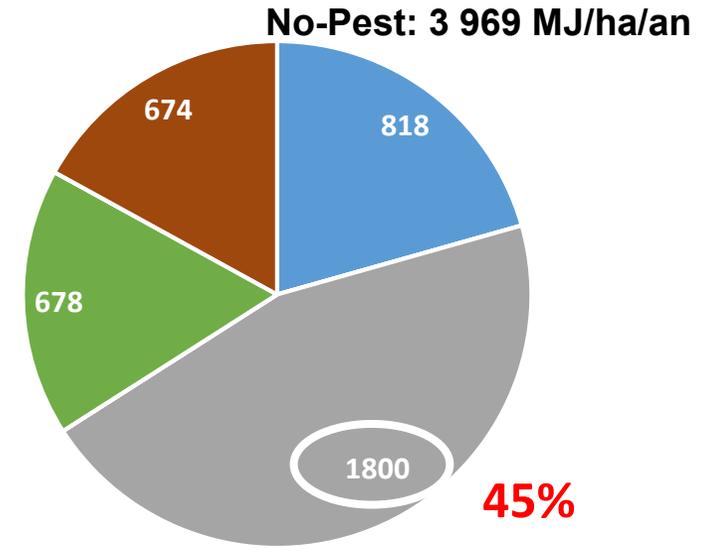
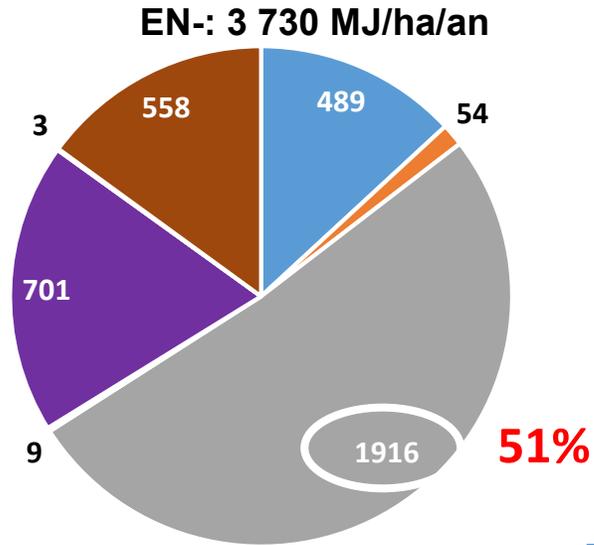
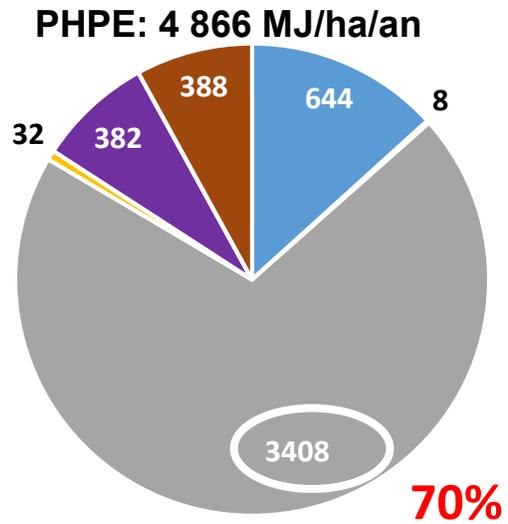


- EiD opérations culturales
- EiD antilimaces
- EiD fertilisation
- EiD fongicide
- EiD herbicide
- EiD sèchage
- EiD régulateur
- EiD semences

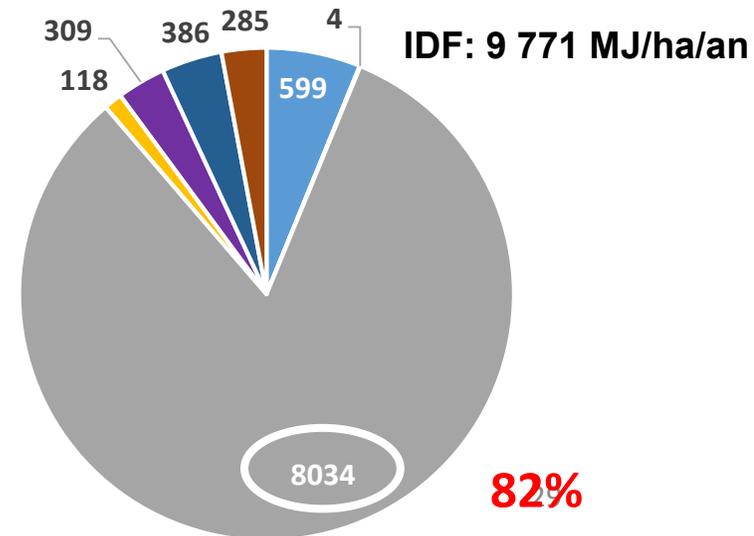


# Consommation d'énergie indirecte

→ Part importante liée à la fertilisation azotée

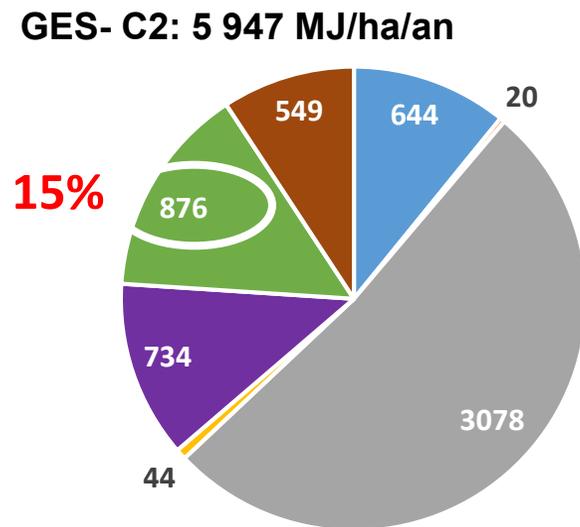
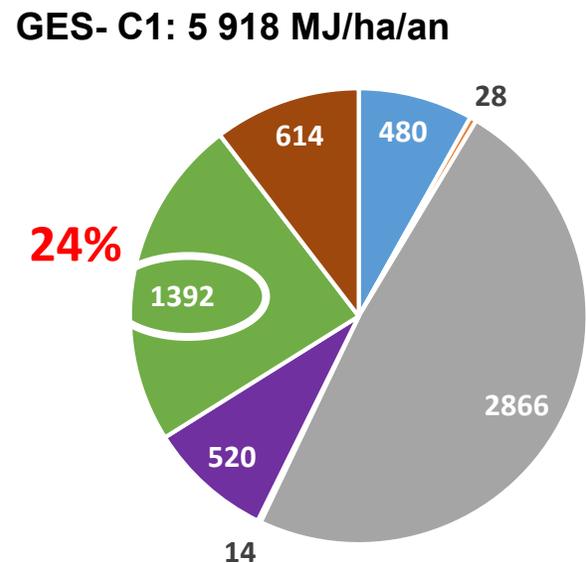
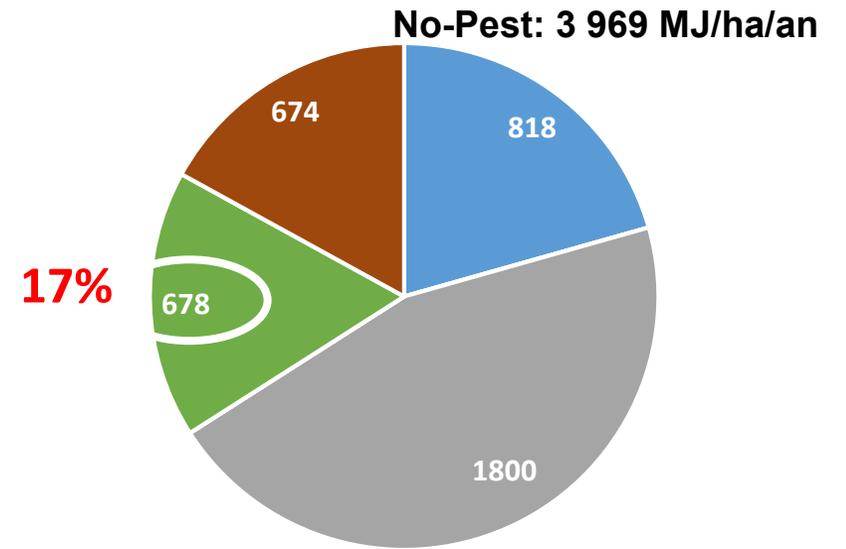
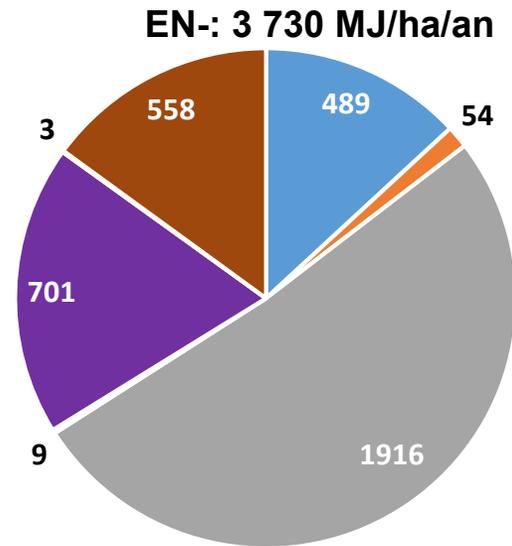
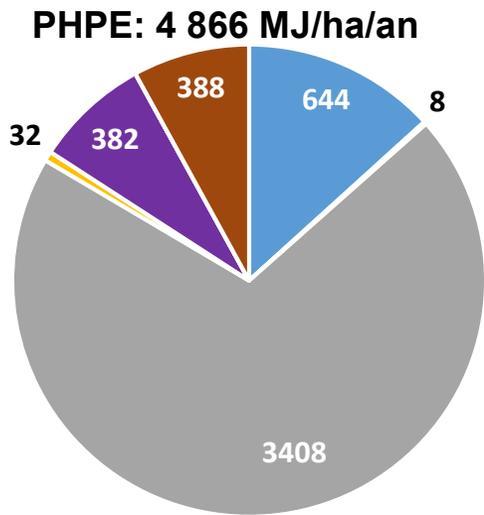


- EiD opérations culturales
- EiD antilimaces
- EiD fertilisation
- EiD fongicide
- EiD herbicide
- EiD sèchage
- EiD régulateur
- EiD semences

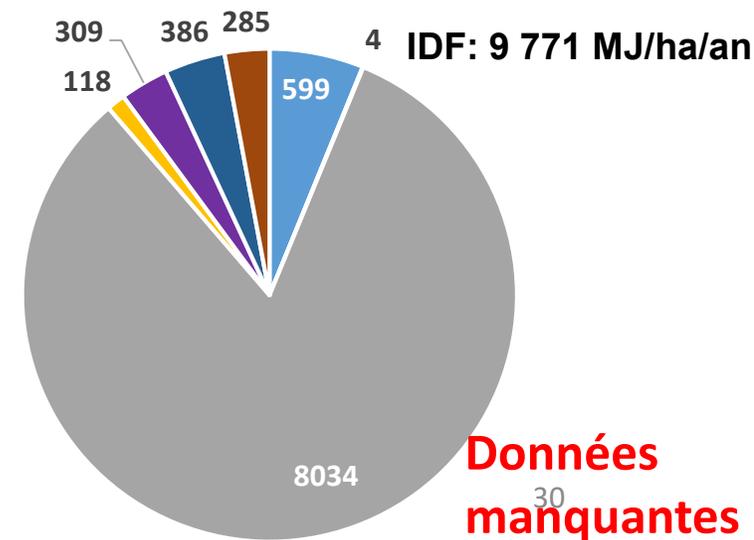


# Consommation d'énergie indirecte

## → Part élevée liée au séchage des grains de maïs

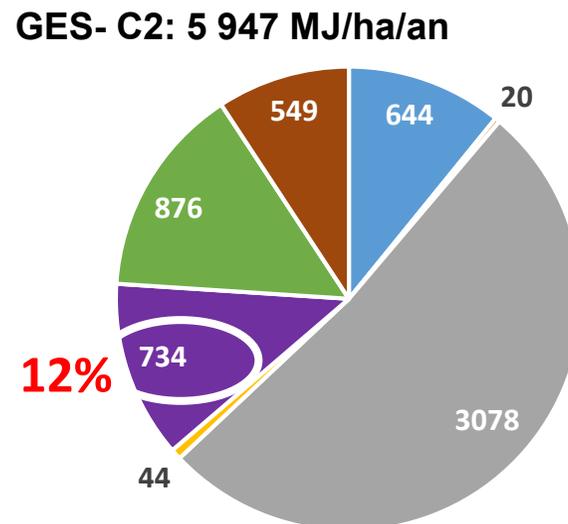
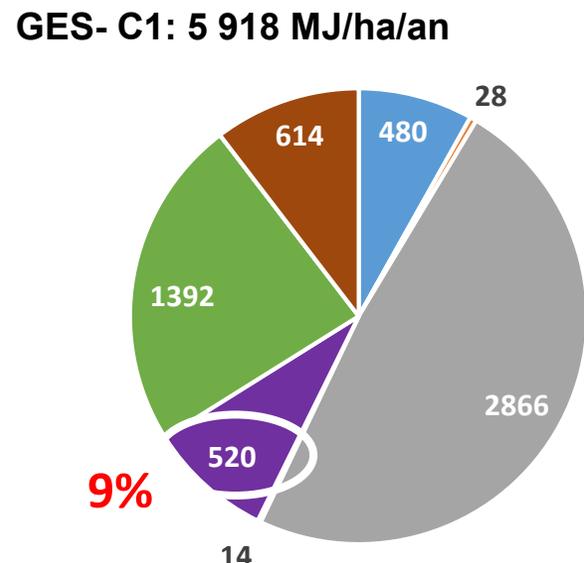
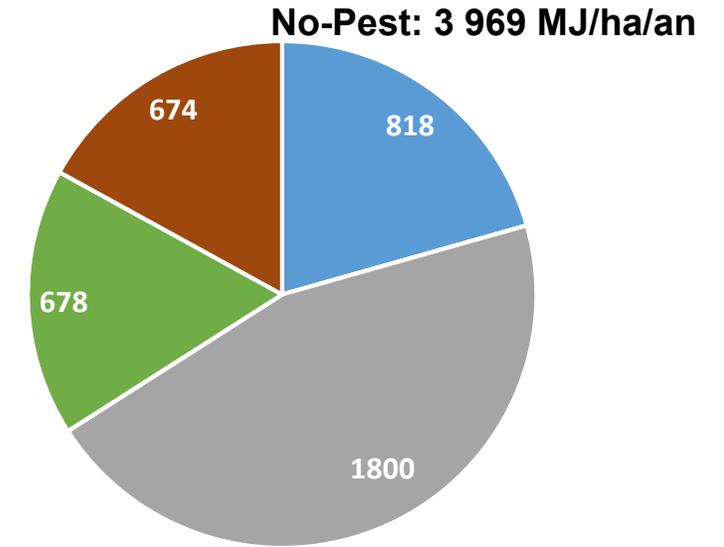
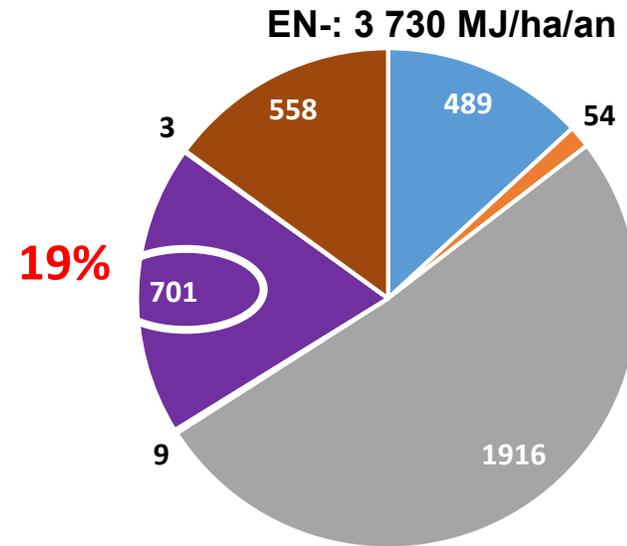
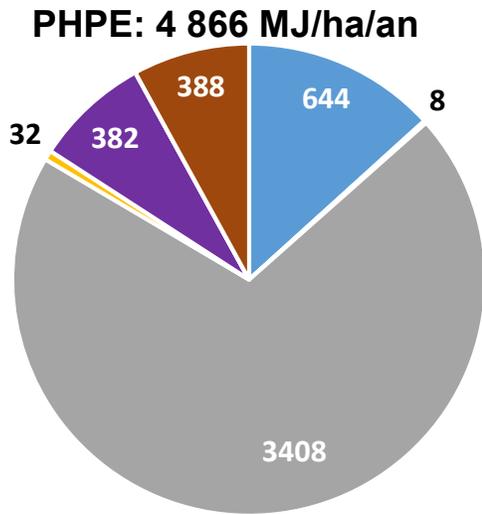


- EiD opérations culturales
- EiD antilimaces
- EiD fertilisation
- EiD fongicide
- EiD herbicide
- EiD séchage
- EiD régulateur
- EiD semences

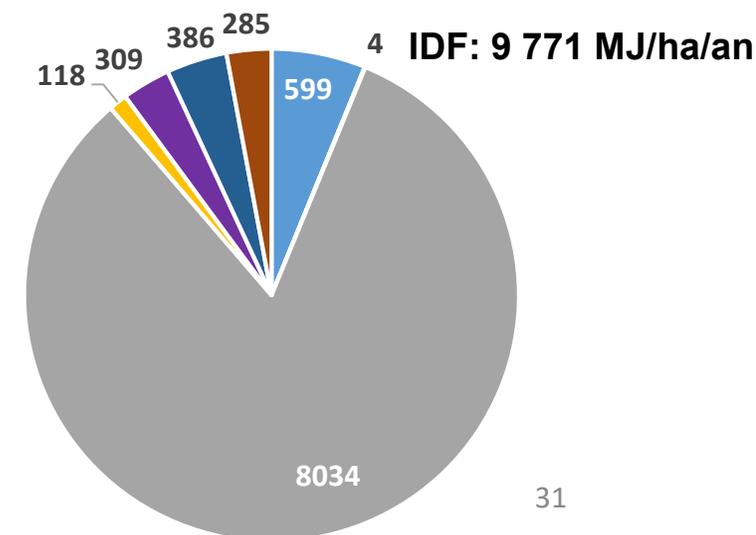


# Consommation d'énergie indirecte

→ **Importance liée aux herbicides** (sdci sans travail du sol)

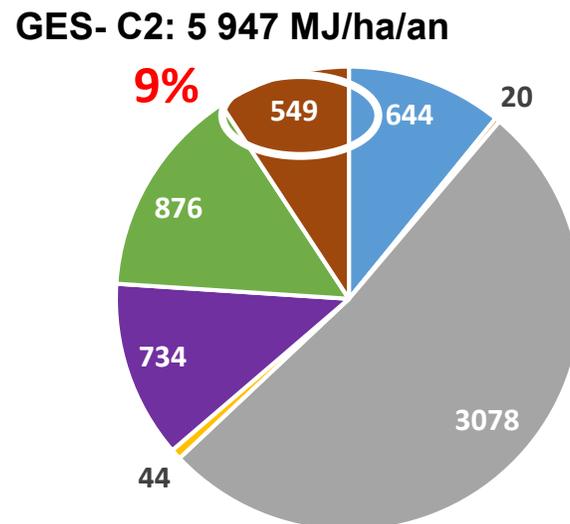
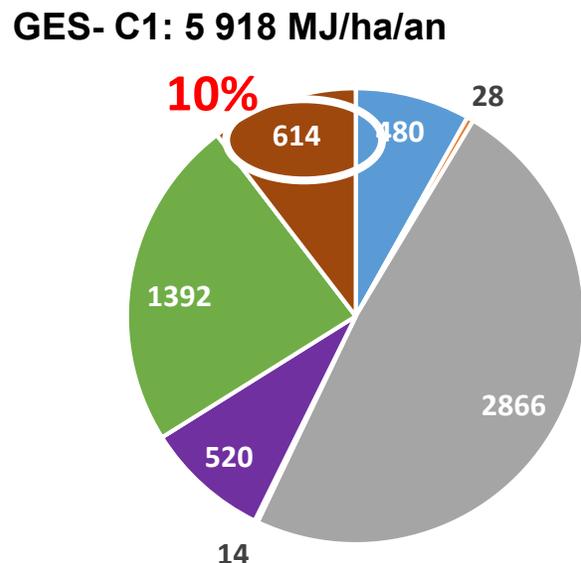
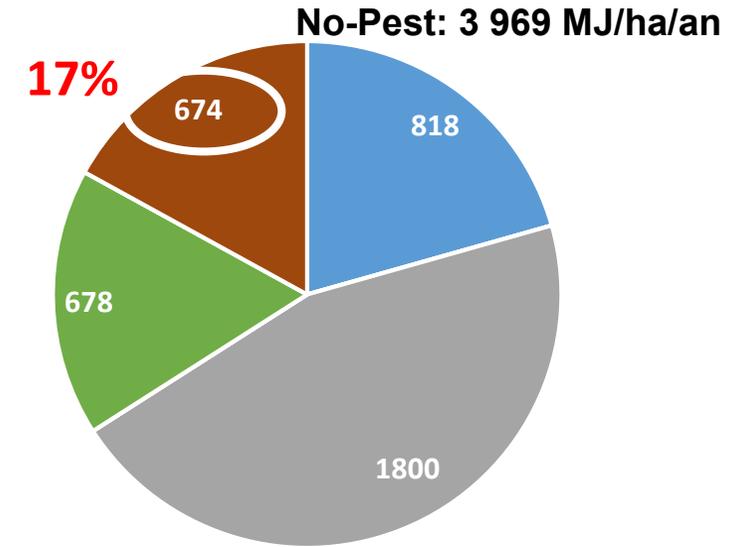
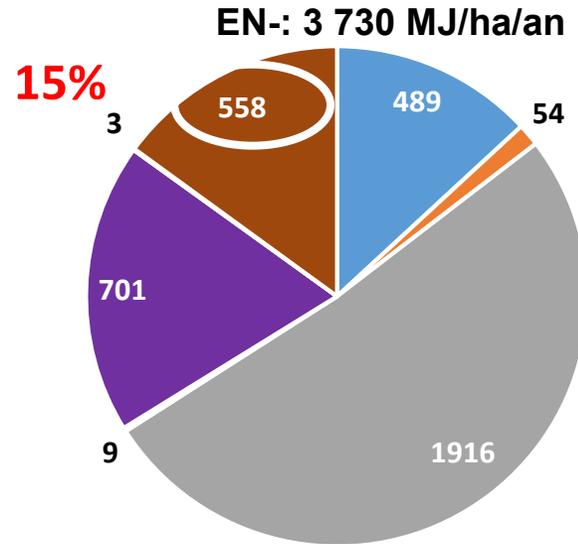
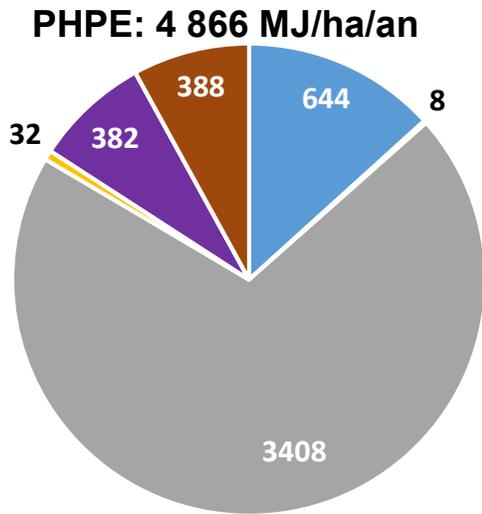


- EiD opérations culturales
- EiD antilimaces
- EiD fertilisation
- EiD fongicide
- EiD herbicide
- EiD sèchage
- EiD régulateur
- EiD semences

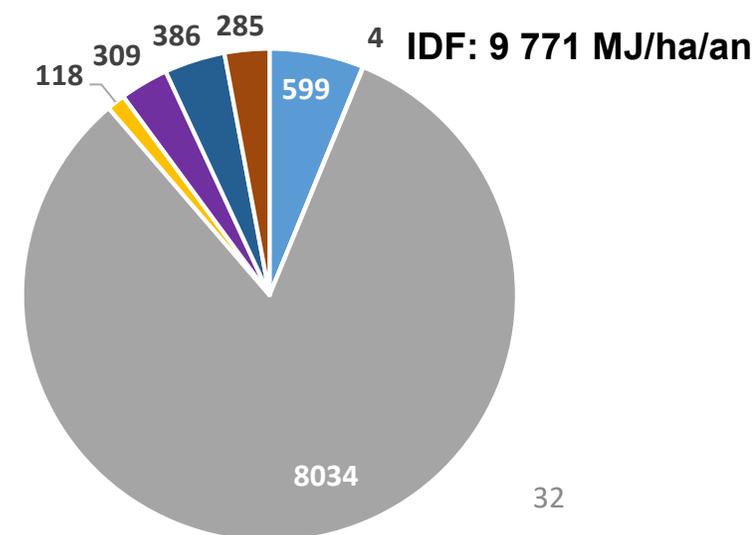


# Consommation d'énergie indirecte

→ plus élevées pour les semences dans les sdc No-Pest, GES- et EN-

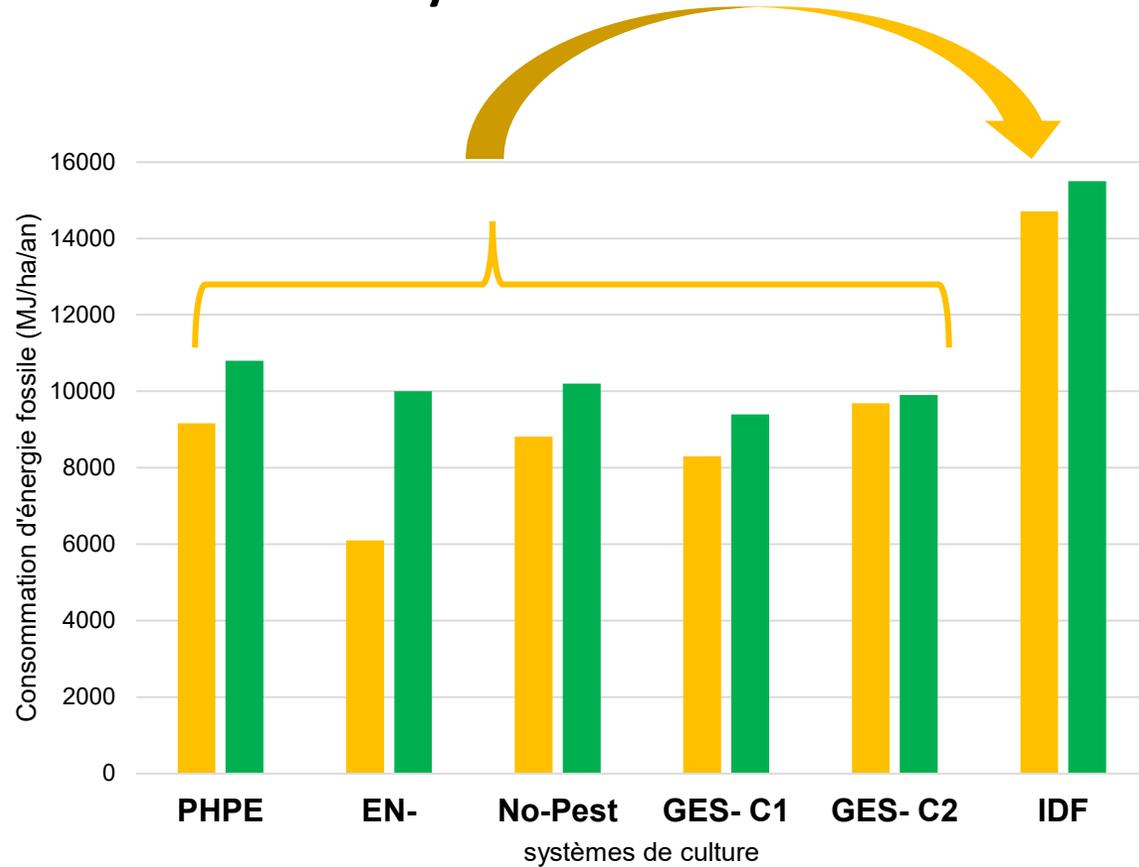


- EiD opérations culturales
- EiD antilimaces
- EiD fertilisation
- EiD fongicide
- EiD herbicide
- EiD sèchage
- EiD régulateur
- EiD semences



→ **Consommations d'énergie totale des sdci très inférieures aux sdc locaux**  
→ **Consommation du sdc EN- beaucoup plus faible**

**Réduction moyenne: -43%**

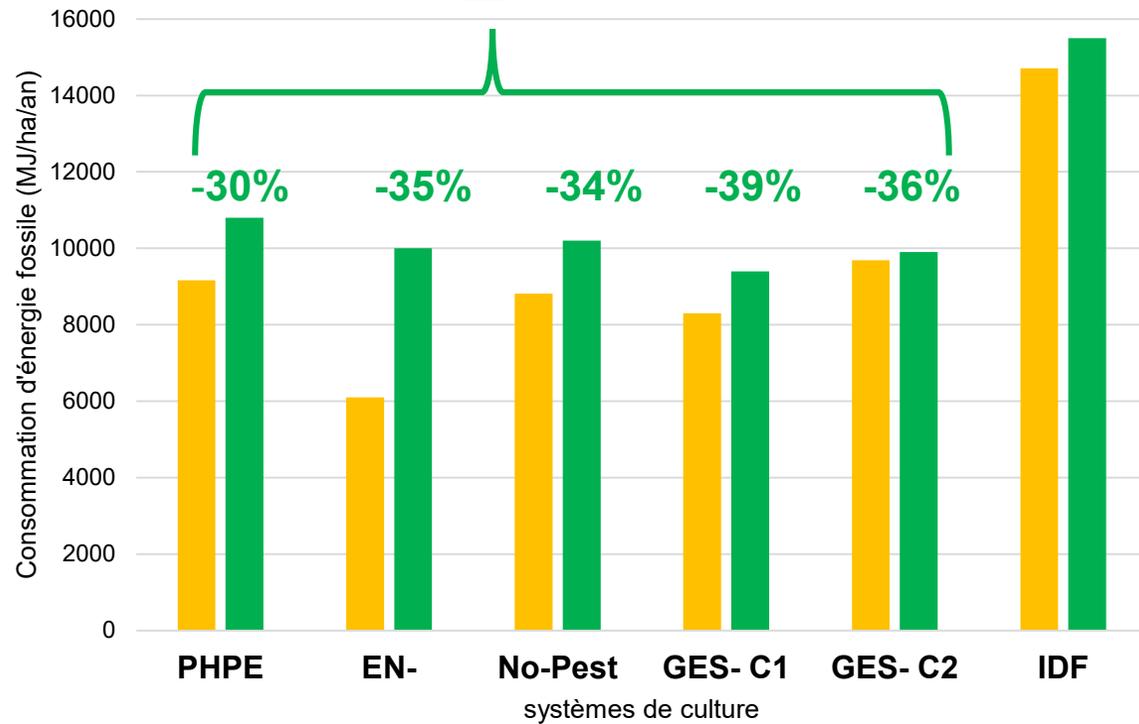


■ **Consommation d'énergie totale (MJ/ha/an)**

■ **Production d'énergie / 10 (MJ/ha/an)**

## → Productions énergétiques des sdc inférieures aux sdc locaux

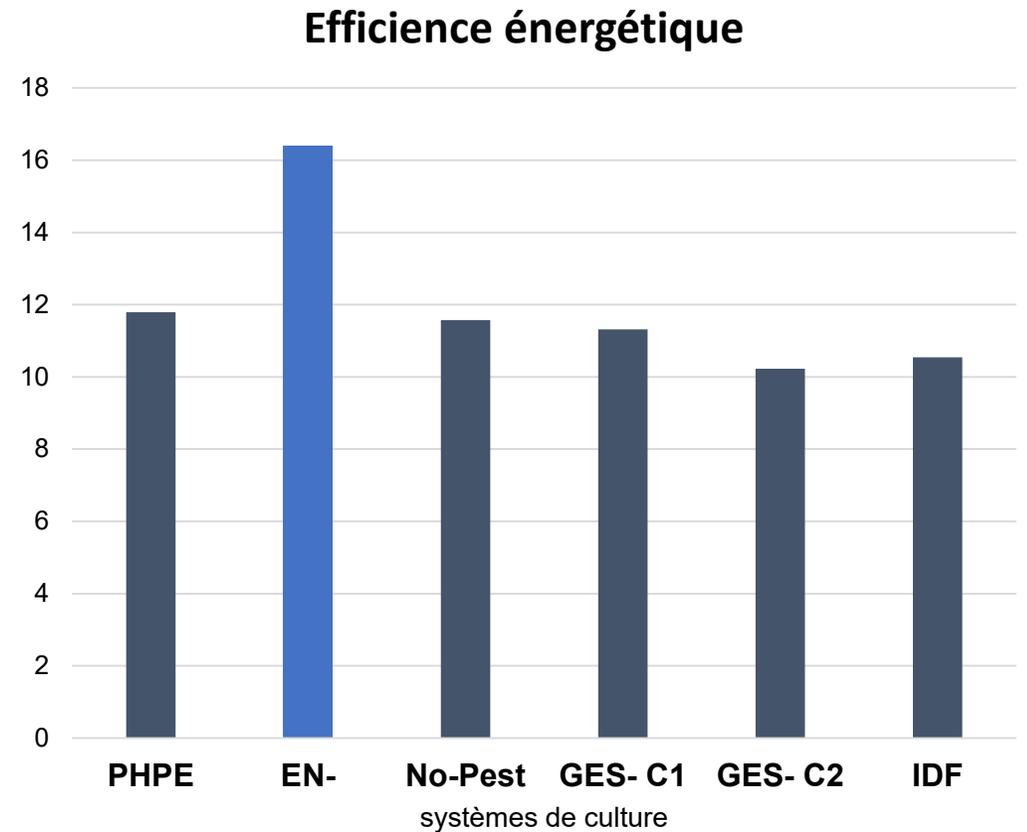
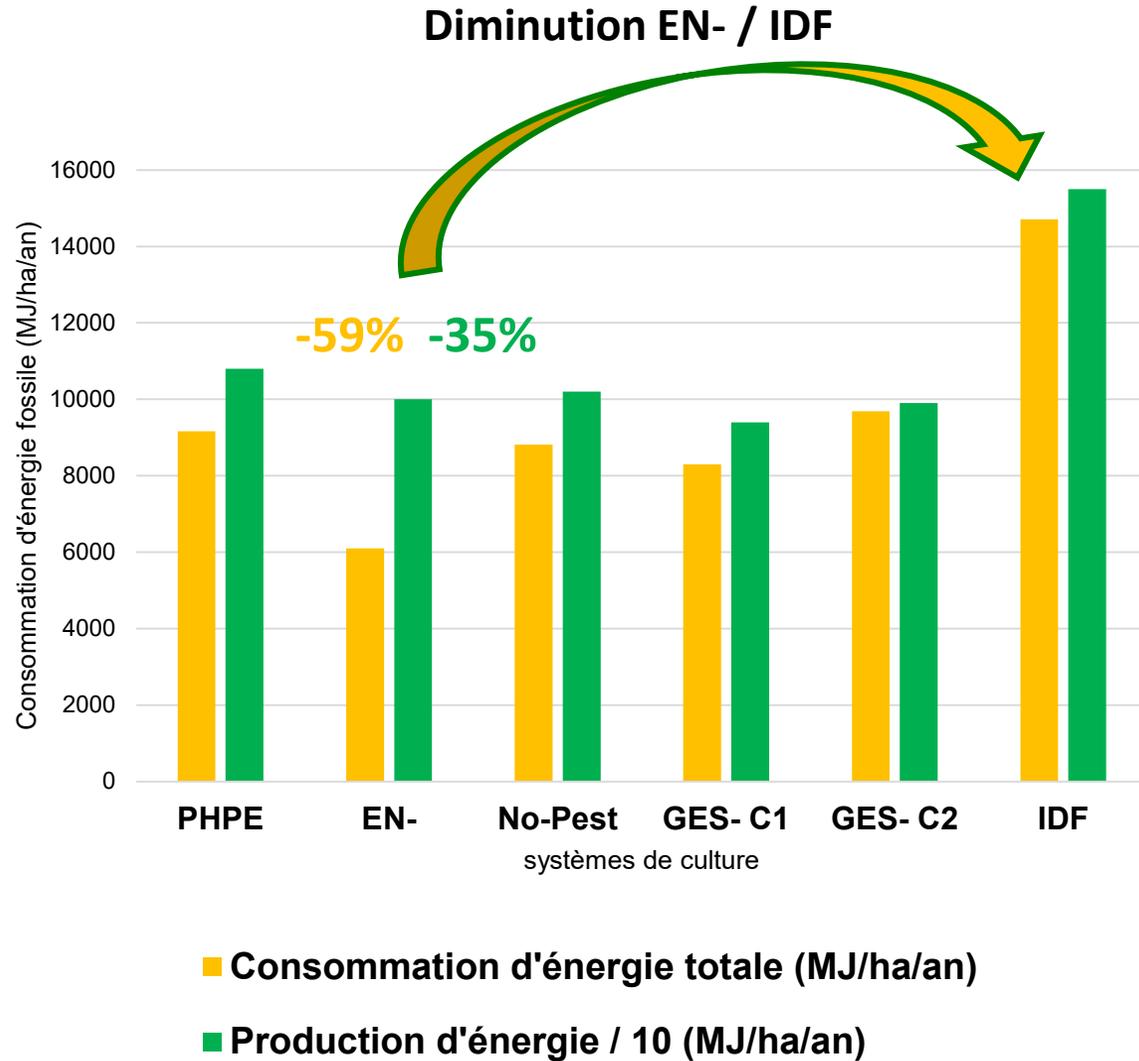
Réduction moyenne: -35%



■ Consommation d'énergie totale (MJ/ha/an)

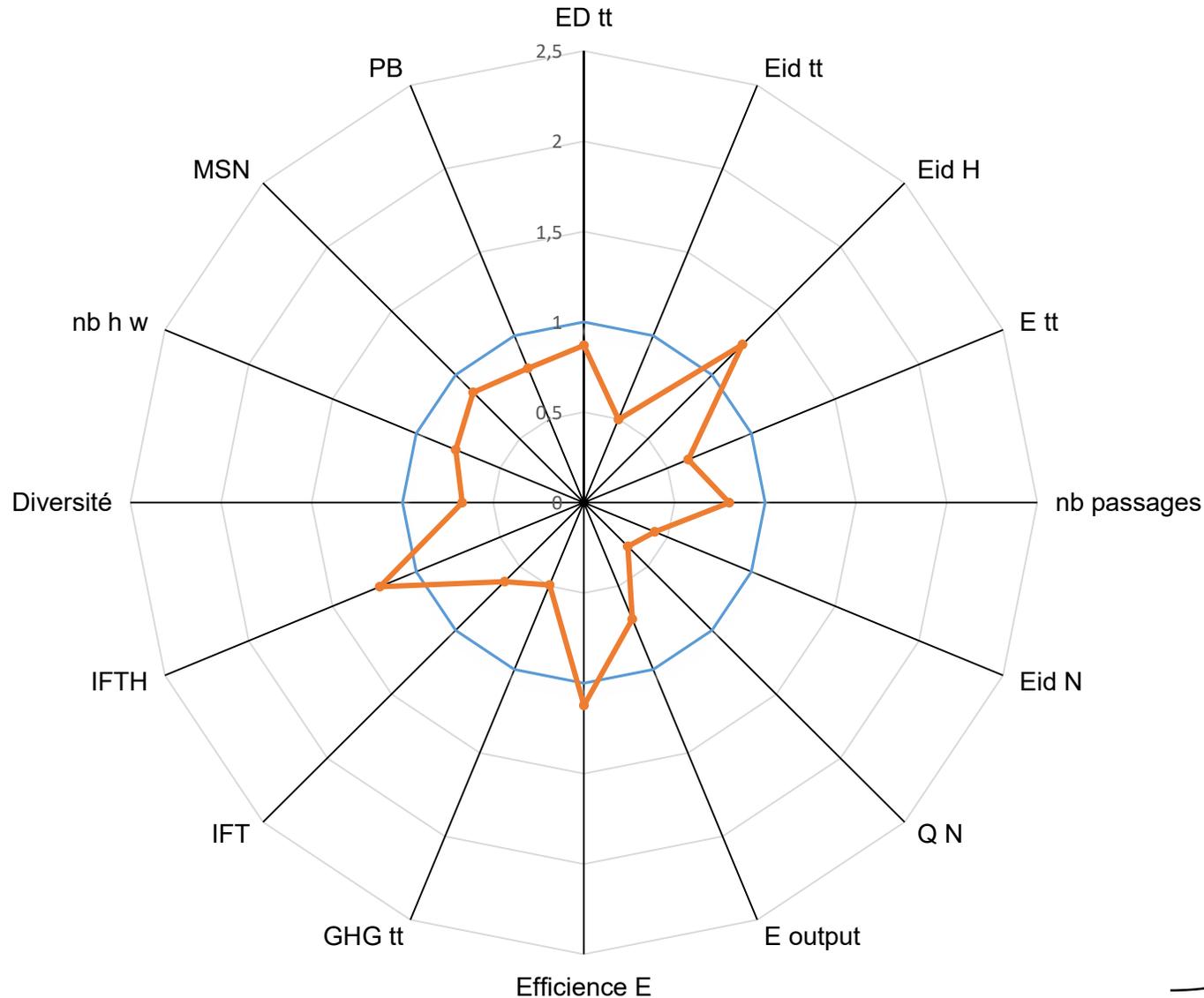
■ Production d'énergie / 10 (MJ/ha/an)

→ **Efficiéce énérgétique plus élevée du sdcí EN- par rapport aux autres sdc**



# Ratio des performances entre le sdc PHPE et les sdc locaux

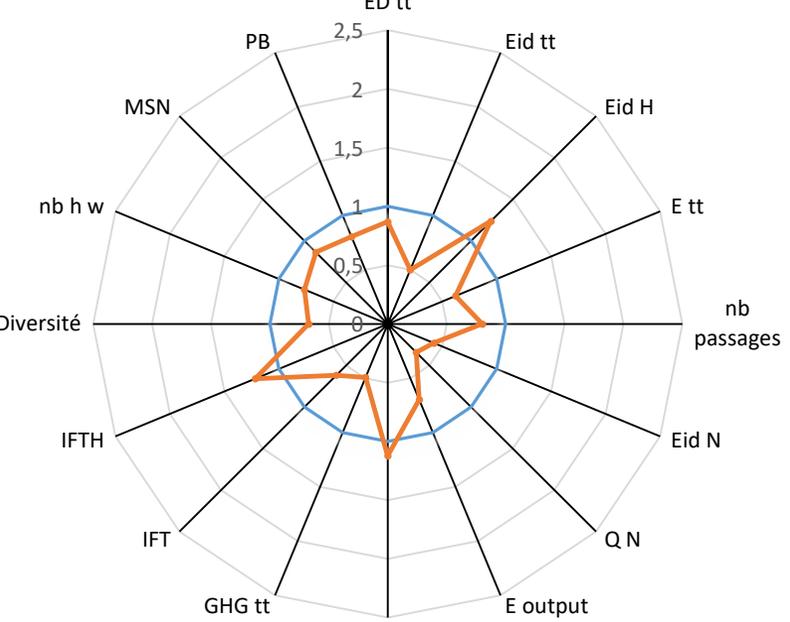
— PHPE 11 ANS / IDF



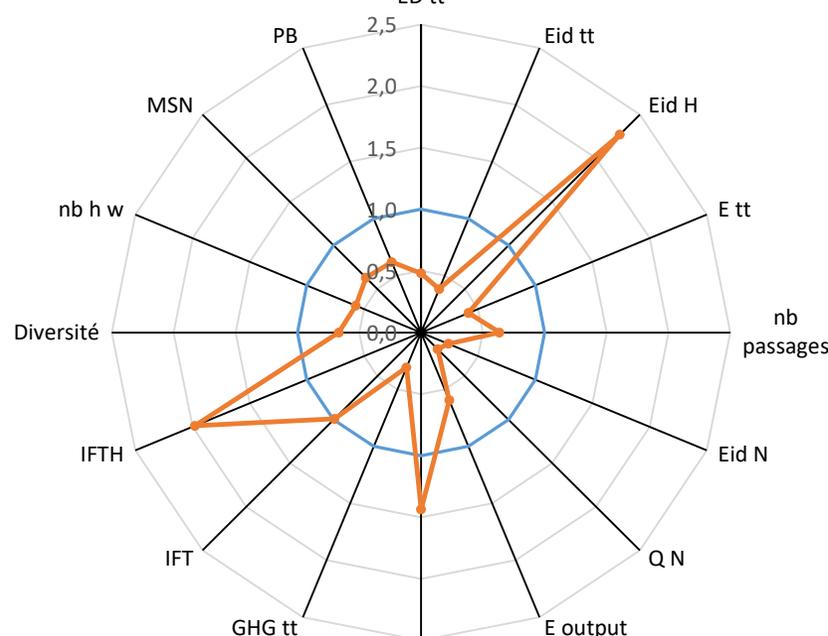
Indicateurs énergétiques

- ED tt: énergie directe
- Eid tt: énergie indirecte
- Eid H: énergie indirecte herbicide
- E tt: énergie totale
- Eid N: énergie indirecte N
- Q N: quantité N
- E output: production d'énergie
- Effizienz E: efficacité énergétique
- GHG tt: émissions de GES totale
- IFT: IFT herbicides
- Nb h w: nombre d'heures de travail
- MSN: marge semi-nette
- PB: produit brut

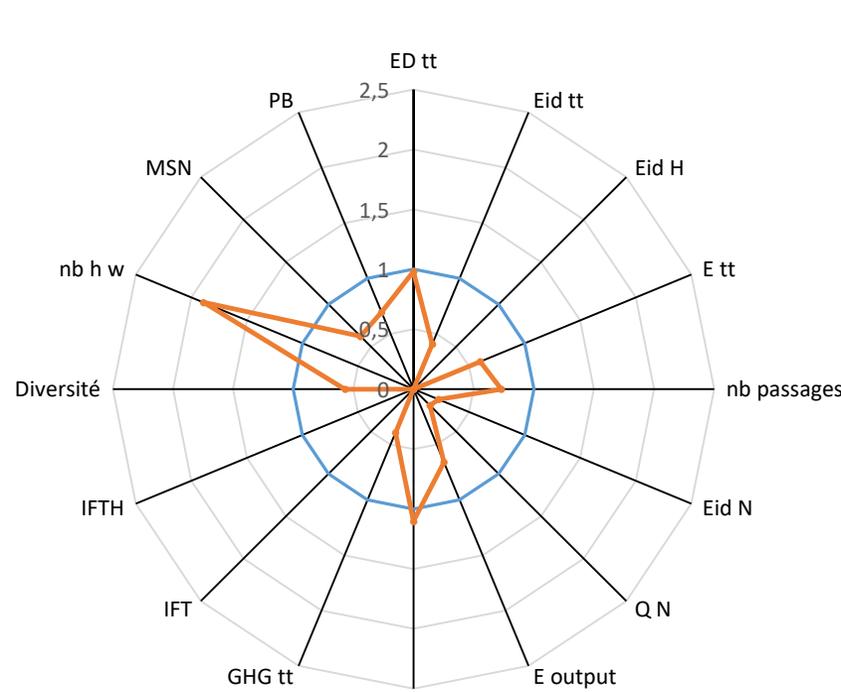
— PHPE 11 ANS / IDF



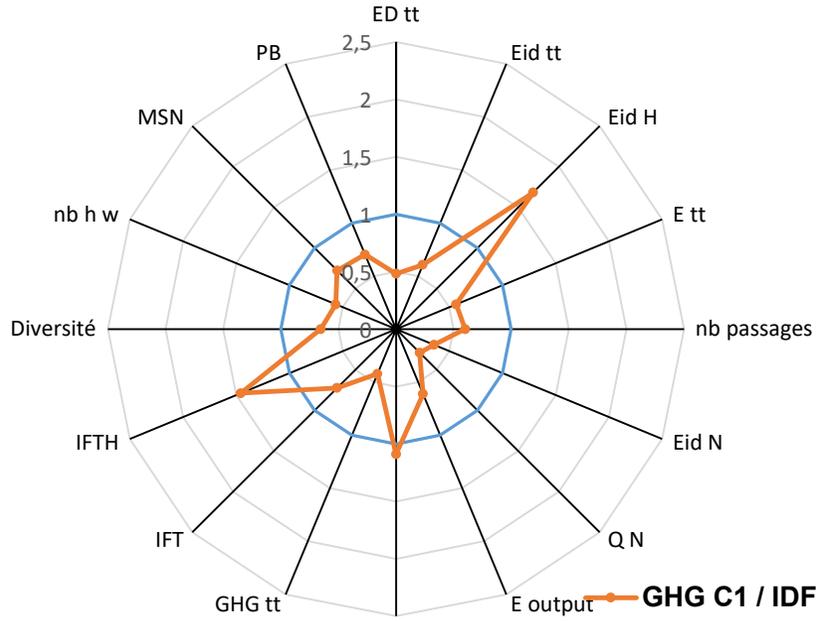
— EN- 11ans/ IDF



— No-Pest 11 ANS/ IDF



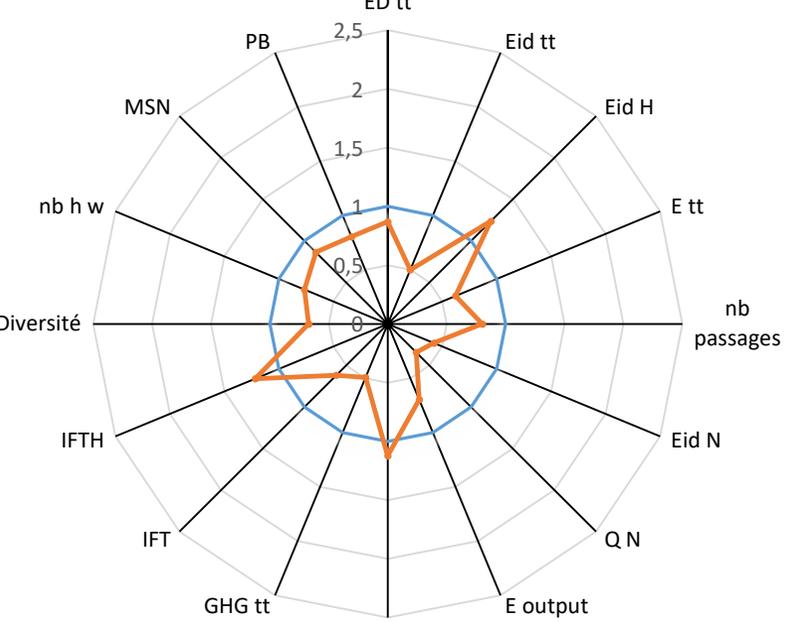
ED tt: énergie directe totale  
 Eid tt: énergie indirecte totale  
 Eid H: énergie indirecte herbicide  
 E tt: énergie totale  
 Eid N: énergie indirecte N  
 Q N: quantité N  
 E output: production d'énergie  
 Efficienne E: efficacité énergétique  
 GHG tt: émissions de GES totale  
 IFTH: IFT herbicides  
 Nb h w: nombre d'heures de travail  
 MSN: marge semi-nette  
 PB: produit brut



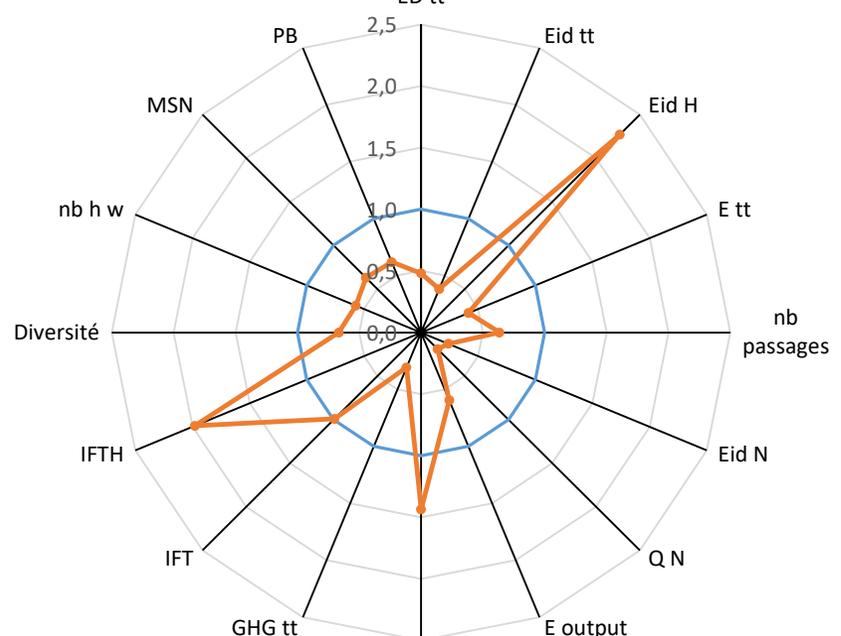
**Critères environnementaux**

- \*Meilleures performances énergétiques pour les sdci (excepté Eid H dans sdci EN- et GES-)
- \*Efficacités énergétiques plus élevées pour les sdci
- \*Moins d'émissions de GES dans les sdci
- \*IFT plus faibles dans les sdci, mais IFTH plus élevés (excepté dans sdci No-Pest)
- \*Diversité des espèces plus forte dans les sdci
- \*Nombres de passages et d'heures de travail inférieurs dans sdci

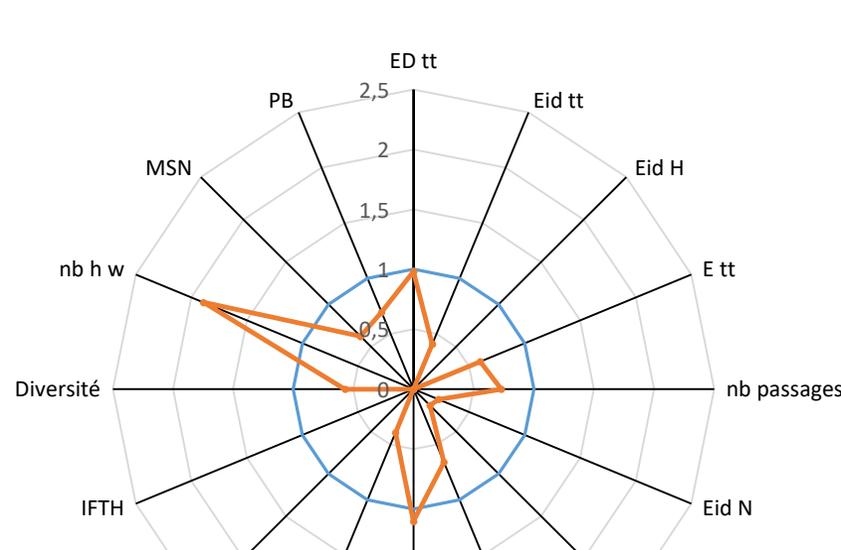
— PHPE 11 ANS / IDF



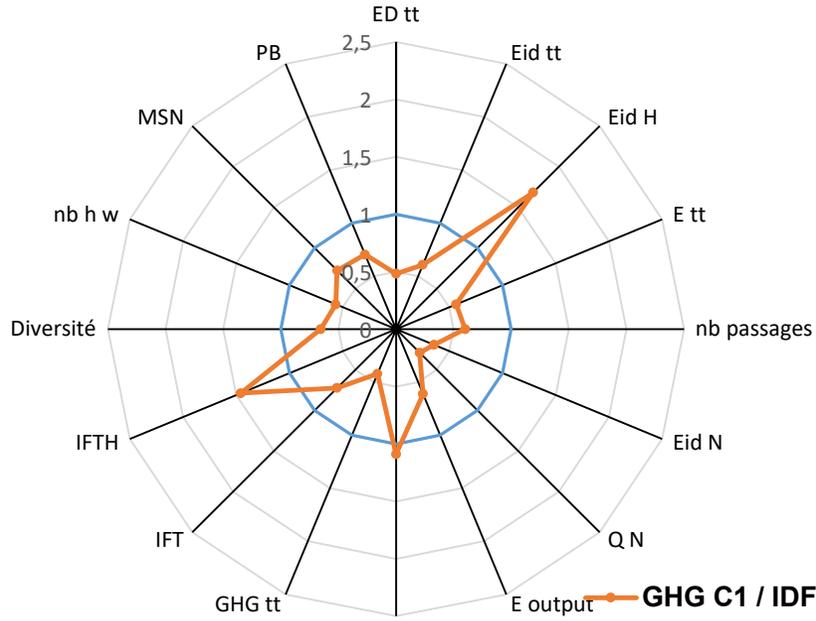
— EN- 11ans/ IDF



— No-Pest 11 ANS/ IDF



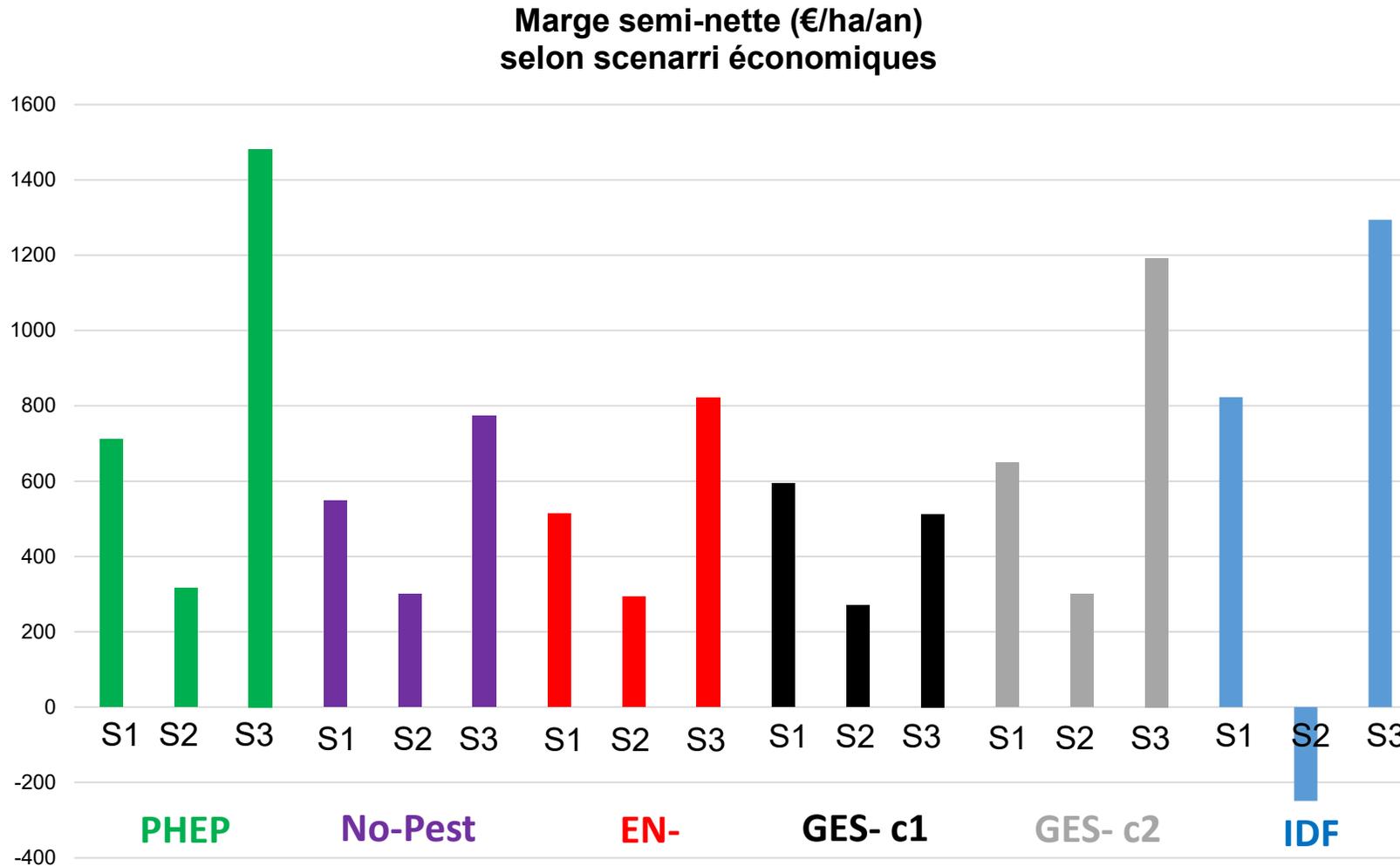
ED tt: énergie directe totale  
 Eid tt: énergie indirecte totale  
 Eid H: énergie indirecte herbicide  
 E tt: énergie totale  
 Eid N: énergie indirecte N  
 Q N: quantité N  
 E output: production d'énergie  
 Efficence E: efficacité énergétique  
 GHG tt: émissions de GES totale  
 IFTH: IFT herbicides  
 Nb h w: nombre d'heures de travail  
 MSN: marge semi-nette  
 PB: produit brut



— GHG C1 / IDF

**Critères économiques : MSN et PB**  
 \*Meilleures performances pour les sdc locaux **MAIS**  
**attention au scénario économique** (prix représentatifs de la période 2012-2016)

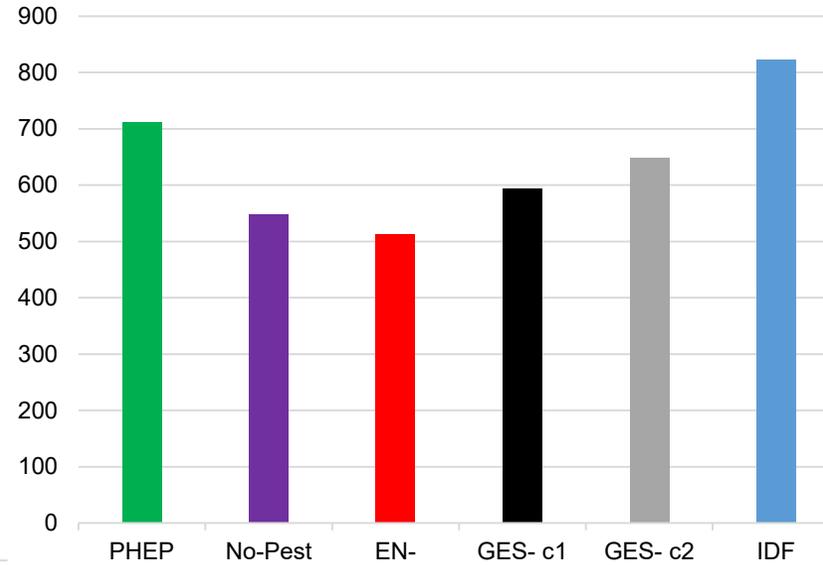
# Performances économiques selon différents scénarii économiques → grandes variabilités des MSN selon les scénarii



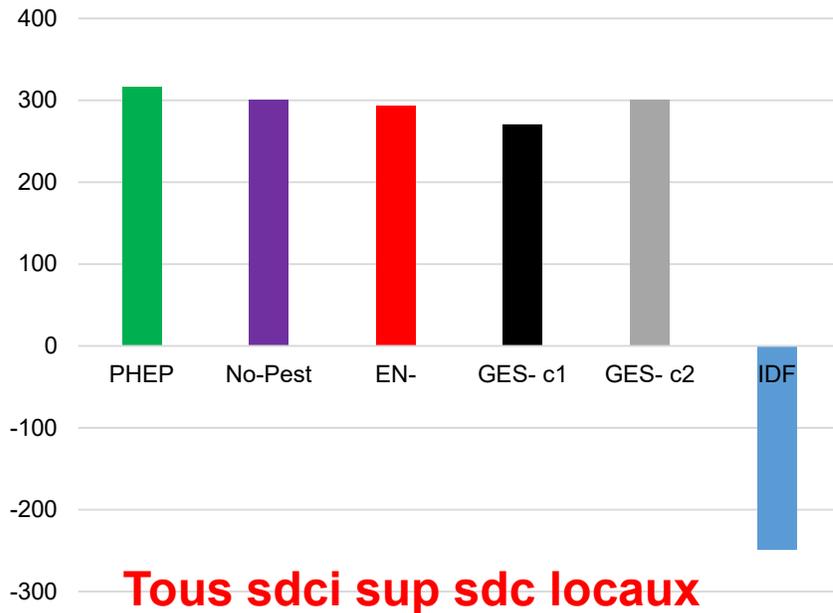
S1 : prix de vente et d'achat des intrants représentatifs de la période 2012-2016  
 S2 : prix de vente représentatifs période 2012-2016, et prix du fuel et N de 2022 (hauts)  
 S3 : prix représentatifs de 2022 (prix de vente et prix d'achat des intrants hauts)

# → Marges semi-nettes supérieures des sdci que celles des sdc locaux dans scénarii extrêmes

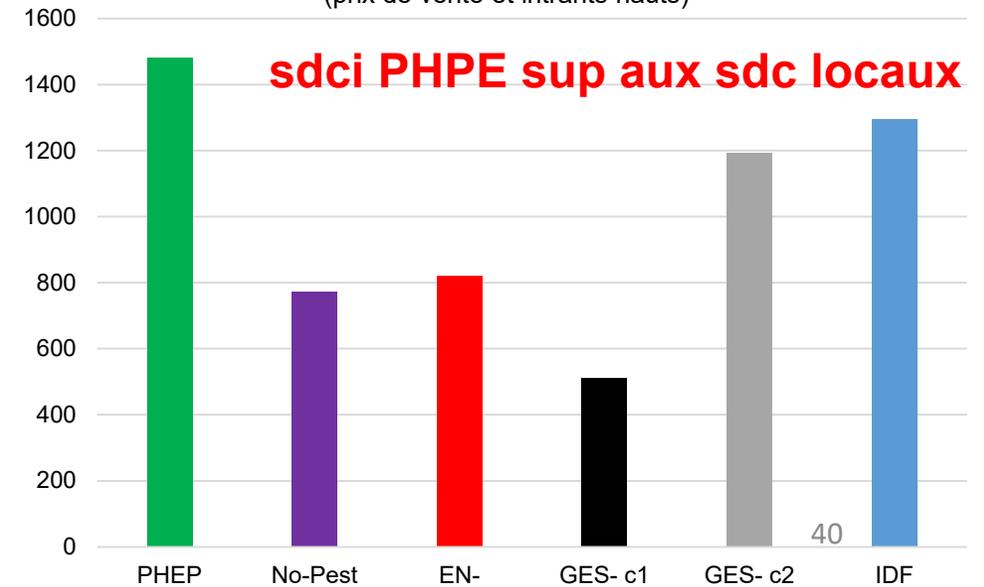
### S1: Prix représentatifs période 2012-2016



### S2: Prix de vente représentatifs période 2012-2016, et prix du fuel et N de 2022 (hauts)



### S3: Prix représentatifs de 2022 (prix de vente et intrants hauts)



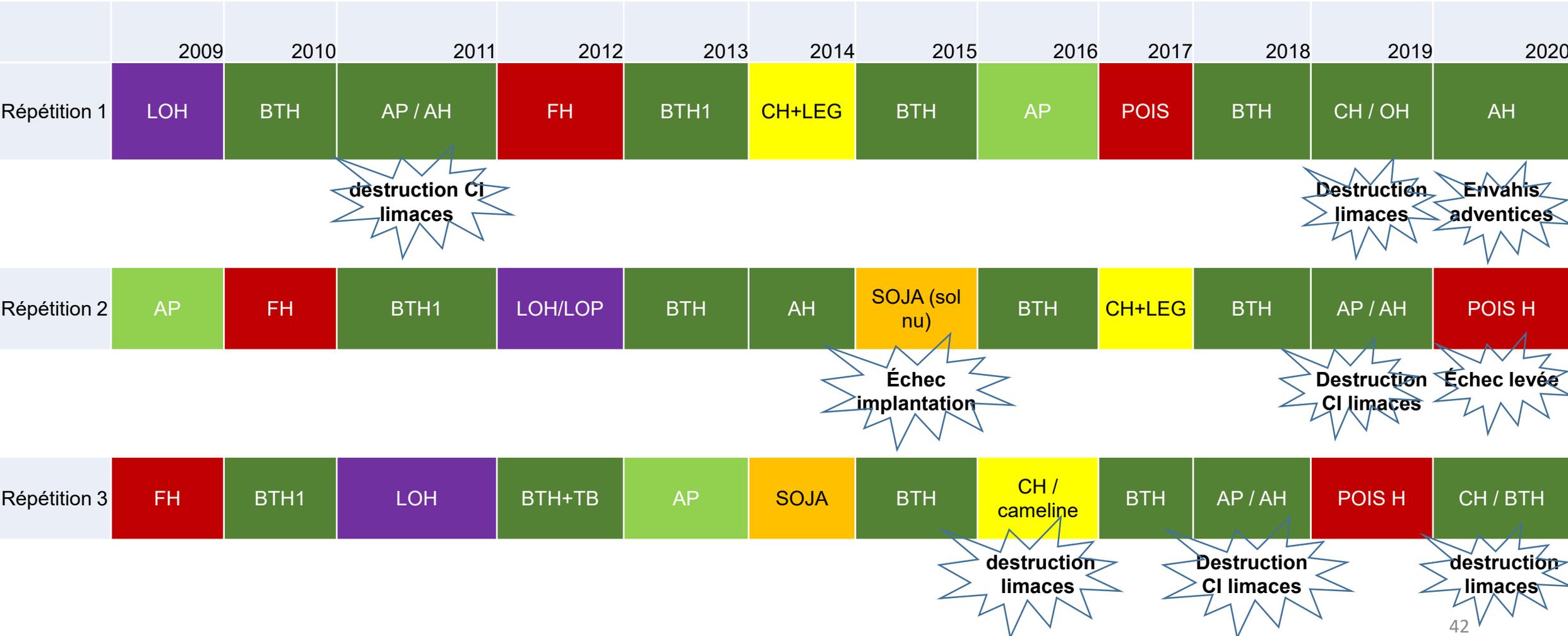
## Compromis entre performances

**Réduction drastique de la consommation d'énergie fossile → Réduction des objectifs de production** pour les espèces fertilisées, dès l'étape de la conception.

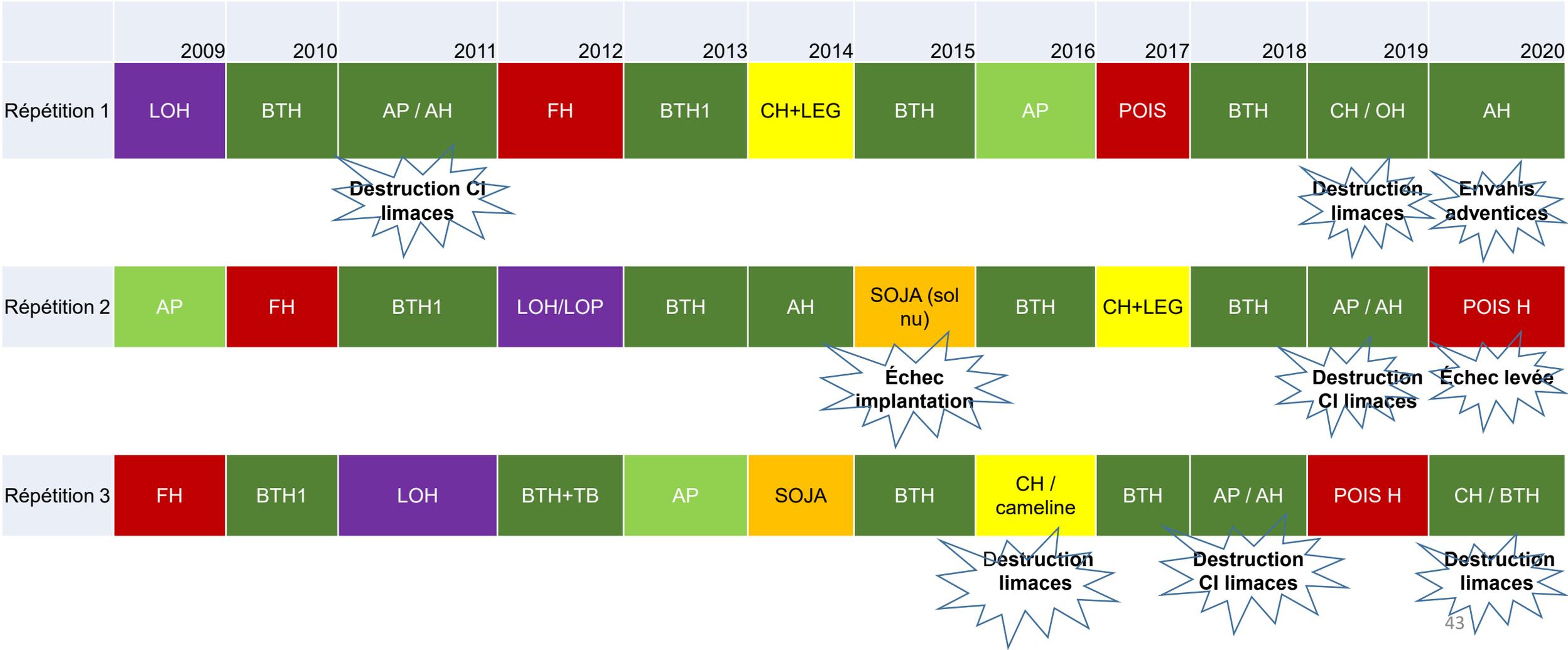
Dans nos conditions expérimentales, en lien avec les choix des leviers techniques (ici le non travail du sol) :

- **difficultés de maîtriser les populations d'adventices** (dans la culture de lin) → **+++ herbicides**
- **difficultés de maîtriser les populations « destructrices » des peuplements végétaux** (limaces et autres), induisant :
  - (i) → **+++ de molluscicides** (2015),
  - (ii) → **échecs d'implantation de certaines espèces** (plantes oléagineuses: moutarde limitant l'implantation d'espèces de printemps, le colza) d'où **baisse de la diversité des espèces implantées**

→ **Des échecs de plus en plus nombreux dans le temps**



→ **Diminution de la diversité des espèces implantées**  
moins d'espèces de printemps (car échec des CI),  
échec des colzas et plus de céréales d'hiver



## Performances des autres sdci par rapport aux sdc locaux

- **Bonnes performances énergétiques par rapport aux sdc locaux, sans dérives environnementales**, en termes de maîtrise d'adventices (excepté GES-C1), de limaces et de la diversité des espèces

% / sdc locaux	PHPE	No-Pest	GES- C1	GES- C2	EN-
Consommation d'énergie totale	62%	60%	56%	66%	41%
Consommation d'énergie directe	87%	98%	48%	76%	48%
Consommation d'énergie indirecte	50%	40%	61%	61%	38%

- **Réductions des émissions de GES**
- **Diminutions de l'utilisation de pesticides**
- **Performances économiques variables par rapport aux sdc locaux** (cf. scénarii économiques)

## Les limites de cette étude

- Les conditions spécifiques du pédoclimat du plateau de Grignon
- Apprentissages des techniques du non travail du sol pour satisfaire la contrainte énergétique
- Paramétrage « moyennement » précis pour le calcul des performances
  - (i) coût énergétique des récoltes
  - (ii) coût énergétique de certains pesticides et fertilisants
- Non prise en compte de la consommation d'énergie pour le séchage des grains de maïs des sdc locaux
- Dépendance des coûts au système expérimental
- Conditions d'humidité du sol induisant des consommations variées d'énergie fossile directe non prise en compte
- Données incomplètes du sdc GES- C2 suite à l'arrêt de l'expérimentation en 2019

# Conclusions

- Les leviers techniques consommateurs d'énergie fossile ont été identifiés
- Réduire la consommation d'énergie fossile à l'échelle du système de culture s'accompagne de compromis entre performances
- Mettre en œuvre une nouvelle combinaison de leviers techniques conduit à des apprentissages
- Performances économiques de systèmes de culture peu consommateur d'énergie sont très dépendants des scénarii économiques

« Grand objectif scientifique »  
 Evaluation, conception et pilotage de systèmes agroécologiques  
 Sobriété énergétique en agriculture



*Renewable Agriculture and Food Systems*: 30(6); 487-502 doi:10.1017/S1742170514000313

**Designing innovative productive cropping systems with quantified and ambitious environmental goals**

Caroline Colnenne-David<sup>1\*</sup> and Thierry Doré<sup>2</sup>

<sup>1</sup>INRA, UMR 211 Agronomie, 78850 Thiverval-Grignon, France.  
<sup>2</sup>AgroParisTech, UMR 211 Agronomie, 78850 Thiverval-Grignon, France.  
 \*Corresponding author: caroline.colnenne@grignon.inra.fr

Data in Brief 38 (2021) 107303

Contents lists available at ScienceDirect  
**Data in Brief**  
 journal homepage: www.elsevier.com/locate/dib

ELSEVIER

Data Article

**Nitrous oxide fluxes and soil nitrogen contents over eight years in four cropping systems designed to meet both environmental and production goals: A French field nitrogen data set**

Caroline Colnenne-David<sup>a</sup>, Gilles Grandeau, Marie-Hélène Jeuffroy, Thierry Doré

Université Paris-Saclay, Inrae, AgroParisTech, Agronomie, Thiverval-Grignon 78850, France

**Problématiques & Débats**

Concilier performances environnementales et rendements élevés : premières évaluations de systèmes de culture innovants sous contraintes

Caroline Colnenne-David<sup>a</sup>, Gilles Grandeau<sup>a</sup>, Thierry Doré<sup>b</sup>



**Merci pour votre attention**

Field Crops Research 210 (2017) 114-128

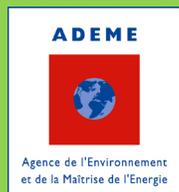
Contents lists available at ScienceDirect  
**Field Crops Research**  
 journal homepage: www.elsevier.com/locate/fcr

ELSEVIER

**Ambitious environmental and economic goals for the future of agriculture are unequally achieved by innovative cropping systems**

Caroline Colnenne-David<sup>a,\*</sup>, Gilles Grandeau<sup>a</sup>, Marie-Hélène Jeuffroy<sup>a</sup>, Thierry Doré<sup>b</sup>

[caroline.colnenne-david@inrae.fr](mailto:caroline.colnenne-david@inrae.fr)



Séminaire 24 mai 2022