

1. Table des matières

1.	Résumé & mots clés	12
2.	Contexte général du projet	15
3.	Objectifs généraux du projet	17
4.	Organisation du projet	17
4.1.	Contenu du projet avec les différentes tâches	17
4.2.	Mobilisation du partenariat	18
4.2.1.	Groupe « méthodologie ACV intrants »	18
4.2.2.	Groupe « formulation »	19
4.2.3.	Groupe « Evaluation environnementale »	19
4.3.	Calendrier des réalisations	19
5.	Éléments méthodologiques	20
5.1.	Questions méthodologiques traitées autour de la réalisation des ACV des intrants alimentaires du bétail (tâche 1)	20
5.1.1.	Comparaison de modèles d'émissions azotés à la parcelle	22
5.1.2.	Comparaison de différentes règles d'allocation à l'échelle de la succession culturale	22
5.2.	Choix méthodologiques retenus pour la réalisation des ACV des intrants alimentaires du bétail (tâche 2)	24
5.2.1.	Granulométrie des données ACV des MP ECOALIM	24
5.2.2.	Méthode de construction des ICV des MP ECOALIM	26
5.2.3.	Méthodologie ACV pour l'évaluation des impacts environnementaux des intrants alimentaires des élevages	26
5.3.	Méthodologie utilisée pour l'optimisation environnementale de la formulation (tâche 3)	30
5.3.1.	Construction des aliments de référence	30
5.3.2.	Prise en compte du contexte économique et des scénarios d'approvisionnement en matières premières	31
5.3.3.	Réduction des impacts environnementaux un à un	32

5.3.4.	Optimisation multicritère	33
5.3.5.	Stratégies d'alimentation	34
5.4.	Méthodologie utilisée pour l'évaluation environnementale des produits animaux ayant mobilisé les ECOALIMENTS (tâche 3)	35
5.4.1.	Profil d'élevages dans lesquels les stratégies d'alimentation innovantes ont été testées	35
5.4.2.	Méthodes d'évaluation environnementale des impacts environnementaux des produits animaux	40
5.4.3.	Méthodes d'évaluation des coûts	41
5.5.	Méthodologie utilisée à l'échelle du Grand Ouest (tâche 3)	42
5.6.	Valorisation	43
6.	Principaux résultats obtenus	44
6.1.	Avancées méthodologiques réalisées dans le cadre du projet concernant l'utilisation de l'ACV pour l'évaluation environnementale des intrants alimentaires	44
6.1.1.	Comparaison de modèles de calculs des flux environnementaux à la parcelle	46
6.1.2.	Règles d'allocation à l'échelle de la succession culturale	47
6.1.3.	Prise en compte des impacts locaux	50
6.1.4.	Prise en compte d'indicateurs émergents	51
6.2.	Impacts environnementaux des intrants alimentaires des animaux d'élevage	53
6.2.1.	Valeurs moyennes françaises	53
6.2.2.	Prise en compte de la diversité des ITK et des procédés de transformation	56
6.3.	Aliments actuels : aliments témoins	58
6.3.1.	Effet du contexte économique	60
6.3.2.	Effet des scénarios d'approvisionnement	61
6.4.	Réduction des impacts environnementaux un à un	61
6.5.	Optimisation multicritère	65
6.5.1.	Filière porcine	65
6.5.2.	Filière poulet de chair	68
6.5.3.	Filière bovine	69
6.6.	Impacts des ECOALIMENTS à l'échelle des produits animaux pour les élevages types	75
6.6.1.	Elevage porcin	75
6.6.2.	Elevage poulet de chair	82
6.6.3.	Elevages laitier et allaitant	85
6.7.	Mise en œuvre territoriale de l'optimisation environnementale de la formulation	88
6.7.1.	Situation de départ	88

6.7.2.	Réduction pas à pas	91
6.7.3.	Réduction avec fonction multiobjectif	92
7.	Limites et Reproductibilité	96
7.1.	Granulométrie des données ACV des MP	96
7.2.	Transfert de pollution	97
7.3.	Quelle base de données pour les fabricants d'aliments ?	97
7.4.	Choix politiques ajustables	98
8.	Enseignements et Recommandations	98
8.1.	Production de près de 150 références environnementales de matières premières utilisées ou utilisables en alimentation animale, mises à disposition dans les bases de données référentes	98
8.2.	Une méthodologie ACV à appliquer aux intrants alimentaires des élevages	99
8.3.	Méthode d'optimisation environnementale de l'étape formulation des aliments du bétail	100
8.4.	Potentiel de réductions des impacts environnementaux des aliments pour les différentes filières animales	101
8.5.	Réduction des impacts des produits animaux avec les écoaliments	102
8.6.	Réduction des impacts à l'échelle du territoire du Grand Ouest	102
9.	Valorisations réalisées et envisagées	103
9.1.	Site internet	106
9.2.	Bases de données	106
9.3.	Colloques, symposium	106
9.4.	Articles à comité de lecture	108
9.5.	Article techniques	108
10.	Suite(s) envisageable(s) hors valorisation	108

Liste des figures

FIGURE 1: SCHEMA REPRESENTANT LES PHENOMENES REGISSANT LE LESSIVAGE DE L'AZOTE SUR LA SUCCESSION CULTURALE ET LE CHOIX DES PERIMETRES POUR SON ETUDE EN ACV	21
FIGURE 2 : REGLES D'ALLOCATION DES EMISSIONS DE GES DE L'AZOTE DES RESIDUS DE CULTURE DANS LA ROTATION TESTEES	23
FIGURE 3 : PERIMETRE DES ACV DES INTRANTS ALIMENTAIRES ECOALIM.....	27
FIGURE 4 : CALCUL DES ICV DES CULTURES	29
FIGURE 5 : CRITERES D'OPTIMISATION DE LA FORMULATION DES ALIMENTS COMPOSES D'ELEVAGE.....	30
FIGURE 6 : CONDUITE ALIMENTAIRE DES VACHES LAITIERES DU CAS D'ETUDE PAYS DE LA LOIRE (SOURCE : RESEAUX D'ELEVAGE, 2009)	38
FIGURE 7 : COMPOSITION DE LA RATION DES VACHES LAITIERES DES CAS D'ETUDE PAYS DE LA LOIRE ET NORD PAS DE CALAIS, EN % DE LA MSI TOTALE.....	38
FIGURE 8 : COMPOSITION DE LA RATION DES JEUNES BOVINS A L'ENGRAISSEMENT DU CAS D'ETUDE GRAND EST, EN % DE LA MSI TOTALE.....	39
FIGURE 9 : PERIMETRE DES ACV DES PRODUITS ANIMAUX EN PORC ET EN VOLAILLE	40
FIGURES 10 : QUANTITE DE NITRATE LESSIVE (KG N-NO ₃ /HA) ALLOUEE A CHAQUE CULTURE ET RESULTATS D'INDICATEUR EUTROPHISATION MARINE (KG N EQ/ KG, ReCiPe H1.8) EN FONCTION DES REGLES D'ALLOCATION DU LESSIVAGE AU COURS DE L'INTERCULTURE.....	48
FIGURE 11 : EMISSIONS DE GES LIEES AUX RESIDUS DE CULTURE SELON DIFFERENTES METHODES D'ALLOCATION DE N RESIDUS	49
FIGURE 12 : VALEURS DES IMPACTS CHANGEMENT CLIMATIQUE ET OCCUPATION DES TERRES POUR LES PRINCIPALES MATIERES PREMIERES.....	56
FIGURE 13 : VARIATION DE CERTAINS IMPACTS SELON LES ITINERAIRES CULTURAUX POUR CINQ CULTURES FRANÇAISES	58
FIGURE 14 : COMPOSITION MOYENNE DES ALIMENTS TEMOINS DU POULET STANDARD. DE GAUCHE A DROITE : ALIMENT DEMARRAGE, CROISSANCE, FINITION	59
FIGURE 15 : COMPOSITION DES ALIMENTS ENGRAISSEMENT TEMOINS DU PORC	59
FIGURE 16 : COMPOSITION MOYENNE DES ALIMENTS CONCENTRES BOVINS TEMOINS.....	60
FIGURE 17 : REDUCTIONS « PAS A PAS » DE L'IMPACT CHANGEMENT CLIMATIQUE DES ALIMENTS COMPOSES ET INCIDENCE SUR LE PRIX, PAR RAPPORT AUX TEMOINS DANS UN CONTEXTE DE DISPONIBILITE EN MATIERES PREMIERES ELERGIE ET POUR LE SCENARIO D'APPROVISIONNEMENT DU GRAND OUEST.....	64
FIGURE 18 : FORMULES MOYENNES DES ALIMENTS FINITION OBTENUS AVEC LES SCENARIOS LIM-MINPRIX, NLIM-MINPRIX, LIM-MINMO ET NLIM-MINMO (AVEC $\alpha=\alpha_{LIM}$), POUR LES 4 SCENARIOS ECONOMIQUES.....	65
FIGURE 19 : VARIATION DES INDEX DE PRIX ET ENVIRONNEMENTAL SELON LE FACTEUR α DANS LES SCENARIOS LIM ET NLIM LORS DE LA FORMULATION DES ALIMENTS CROISSANCE (●) ET FINITION (○).....	66
FIGURE 20 : REDUCTION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DES ECOALIMENTS OBTENUS AVEC DIFFERENTES STRATEGIES D'ALIMENTATION EN COMPARAISON DE LA STRATEGIE D'ALIMENTATION BIPHASE A MOINDRE COUT.....	68
FIGURE 21 : FORMULES MOYENNES DES ALIMENTS FINITION POULETS DE CHAIR DES SCENARIOS LIM-MINPRIX, NLIM-MINPRIX, LIM-MINMO ET NLIM-MINMO (AVEC $\alpha=\alpha_{LIM}$), POUR LES 4 SCENARIOS ECONOMIQUES	68
FIGURE 22 : EFFETS DE LA FORMULATION MULTIOBJECTIF (MINMO) (AVEC $\alpha=\alpha_{OPT}$) ET/OU DU SCENARIO DE DISPONIBILITE DES MP SUR LE PRIX ET LES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DE L'ALIMENT MOYEN, EXPRIMES EN RELATIF PAR RAPPORT A UN ALIMENT FORMULE A MOINDRE COUT (MINPRIX) DANS LE SCENARIO LIM.	69
FIGURE 23 : EVOLUTION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX POUR L'ECOALIMENT VL40, EN DISPONIBILITE LIMITEE (CONTEXTE JUIN-12)	70
FIGURE 24 : EVOLUTION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX POUR L'ECOALIMENT VL18, EN DISPONIBILITE LIMITEE (CONTEXTE JUIN-12)	71
FIGURE 25 : EVOLUTION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX POUR L'ECOALIMENT JB27, EN DISPONIBILITE LIMITEE (CONTEXTE JUIN-12)	71
FIGURE 26 : SYNTHESE DES STRATEGIES D'ALIMENTATION INNOVANTES TESTES A L'ECHELLE DES ELEVAGES	75
FIGURE 27 : IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX RELATIFS DES KILOGRAMMES DE PORC DES DIFFERENTES STRATEGIES D'ALIMENTATION OPTIMISEES SUR LE PRIX, EN CONTEXTE LIMITE ET ASSOULI EN TERMES DE DISPONIBILITE EN MATIERES PREMIERES, AVEC UNE COMPARAISON A LA STRATEGIE DE REFERENCE (BIPHASE PRIX LIM)	76
FIGURE 28 : IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX RELATIFS DES KILOGRAMMES DE PORC DES DIFFERENTES STRATEGIES D'ALIMENTATION, EN CONTEXTE LIM ET NLIM EN COMPARAISON AVEC LA STRATEGIE DE REFERENCE (BIPHASE PRIX LIM)	76
FIGURE 29 : IMPORTANCE RELATIVE DU POSTE ALIMENTATION DANS LES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DES KILOGRAMMES DE PORC	77
FIGURE 30 : EXCRETIONS AZOTEES DE L'ELEVAGE, MAT DES ALIMENTS EN ENGRAISSEMENT ET INDICE DE CONSOMMATION DES PORCS EN ENGRAISSEMENT POUR LES DIFFERENTES STRATEGIES D'ALIMENTATION APPLIQUEE A L'ELEVAGE.	78

FIGURE 31 : REDUCTION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DES KILOGRAMMES DE PORC PERMISE PAR L'OPTIMISATION ENVIRONNEMENTALE DE LA FORMULATION, EN COMPARAISON DE LA STRATEGIE D'ALIMENTATION BIPHASE OPTIMISEE SUR LE PRIX.....	79
FIGURE 32 : COMPARAISON DU COUT DES TONNES D'ALIMENTS UNITAIRES ENGRAISSEMENT ENTRE STRATEGIES ALIMENTAIRES (SANS PRISE EN COMPTE DES QUANTITES CONSOMMEES PAR L'ELEVAGE).....	80
FIGURE 33 : COUT DES ALIMENTS DE L'ELEVAGE RAMENE AU KILOGRAMME DE PORC PRODUIT	80
FIGURE 34 : POSITIONNEMENT RELATIF DU COUT DES ALIMENTS RAMENES AU KILOGRAMME DE PORC PRODUIT EN COMPARAISON DE LA STRATEGIE DE REFERENCE (BIPHASE PRIX LIM)	81
FIGURE 35 : ECART DE MARGE DE L'ELEVAGE DE PORC ENTRE LES DIFFERENTES STRATEGIES D'ALIMENTATION ET LA STRATEGIE DE REFERENCE (BIPHASE PRIX LIM)	81
FIGURE 36 : IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DU KILOGRAMME DE POULET POUR LA STRATEGIE D'ALIMENTATION OPTIMISEE EN MULTICRITERE EN COMPARAISON DE LA STRATEGIE DE REFERENCE OPTIMISEE SUR LE PRIX	82
FIGURE 37 : VARIATIONS CONJOINTES DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX A L'ECHELLE DE L'ALIMENT ET DU PRODUIT (TONNE DE POULET VIF EN SORTIE D'ELEVAGE) EN FONCTION DE LA VARIATION DE PRIX DE L'ALIMENT OU DU COUT DE PRODUCTION POUR UN CONTEXTE DE DISPONIBILITE LIMITEE (LIM) OU NON LIMITEE (NLIM) EN MATIERES PREMIERES.....	83
FIGURE 38 : IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DU KILOGRAMME DE LAIT POUR LA STRATEGIE D'ALIMENTATION OPTIMISEE EN MULTICRITERE EN COMPARAISON DE LA STRATEGIE DE REFERENCE OPTIMISEE SUR LE PRIX POUR DEUX ELEVAGES TYPES	86
FIGURE 39 : IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DU KILOGRAMME DE VIANDE POUR LA STRATEGIE D'ALIMENTATION OPTIMISEE EN MULTICRITERE EN COMPARAISON DE LA STRATEGIE DE REFERENCE OPTIMISEE SUR LE PRIX POUR UN ELEVAGE TYPE JB GRAND EST	86
FIGURE 40 : CONTRIBUTION DES DIFFERENTES ESPECES ANIMALES AUX IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DES ALIMENTS COMPOSES PRODUITS EN BRETAGNE.....	90
FIGURE 41 : COUT MOYEN ET COUT MARGINAL DE LA REDUCTION DE L'IMPACT CHANGEMENT CLIMATIQUE (GESLUC : CHANGEMENT CLIMATIQUE AVEC CHANGEMENT D'AFFECTION DES SOLS ; GES : CHANGEMENT CLIMATIQUE SANS CHANGEMENT D'AFFECTION DES SOLS) DES ALIMENTS DU BETAIL DU GRAND OUEST (€/T)	92
FIGURE 42 : EVOLUTION RELATIVE DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX D'UNE TONNE ALIMENT COMPOSE MOYEN PRODUIT DANS LE GRAND OUEST EN FONCTION DES VALEURS DE A DE LA FONCTION MULTI OBJECTIF (A=0 TOUT LE POIDS EST DONNE AU COUT ; A=1 : TOUT LE POIDS EST DONNE AUX IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX)	92
FIGURE 43 : REDUCTION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DES ALIMENTS DU BETAILS DU GRAND OUEST AVEC LA FONCTION MULTI-OBJECTIF (A = 0.5)	93
FIGURE 44 : EVOLUTION DES INCORPORATIONS DE MP DANS L'ENSEMBLE DES ALIMENTS COMPOSES DU GRAND OUEST (KT)	94
FIGURE 45 : EVOLUTION DES RATIOS MOYENS ET MARGINAL DES INDICATEURS SYNTHETIQUES PRIX ET ENVIRONNEMENT DES ALIMENTS DU BETAIL DU GRAND OUEST AVEC L'UTILISATION DE LA FONCTION MULTI OBJECTIF (€/T)	95
FIGURE 46 : COMPOSITION DES ALIMENTS ENGRAISSEMENT CROISSANCE ET FINITION OPTIMISÉS SUR LE PRIX AVEC DES DISPONIBILITÉS EN MATIÈRES PREMIÈRES LIMITÉES (CONTEXTE ACTUEL) ET POUR LE SCÉNARIO D'APPROVISIONNEMENT GRAND OUEST	120
FIGURE 47 : COMPOSITION DES ALIMENTS CROISSANCE ET FINITION DE LA STRATEGIE D'ALIMENTATION MULTIPHASE 4 ALIMENTS FORMULES SUR LE PRIX POUR UN CONTEXTE DE DISPONIBILITE LIMITEE EN MATIERES PREMIERES, POUR LE GRAND OUEST, ET POUR LES 4 CONTEXTES DE PRIX.....	124
FIGURE 48 : COMPOSITION DES ALIMENTS CROISSANCE ET FINITION DE LA STRATEGIE D'ALIMENTATION BIPHASE REDEN	124
FIGURE 49 : COMPOSITION DES ALIMENTS CROISSANCE ET FINITION DE LA STRATEGIE D'ALIMENTATION BIPHASE REDEN	124
FIGURE 50 : REDUCTION DE L'IMPACT CONSOMMATION DE P DE L'ALIMENT ENGRAISSEMENT PORC PAS A PAS ET INCIDENCE SUR LE PRIX ET LES AUTRES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DANS UN CONTEXTE DE DISPONIBILITE LIMITEE EN MATIERES PREMIERES .	125
FIGURE 51 : EFFET DE LA REDUCTION DE L'IMPACT CONSOMMATION DE P DE L'ALIMENT ENGRAISSEMENT PORC PAS A SUR LA COMPOSITION DES ALIMENTS DANS UN CONTEXTE DE DISPONIBILITE LIMITEE EN MATIERES PREMIERES	125
FIGURE 52 : REDUCTION DE L'IMPACT CONSOMMATION DE P DE L'ALIMENT ENGRAISSEMENT PORC PAS A PAS ET INCIDENCE SUR LE PRIX ET LES AUTRES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DANS UN CONTEXTE DE DISPONIBILITE ELARGIE EN MATIERES PREMIERES .	126
FIGURE 53 : EFFET DE LA REDUCTION DE L'IMPACT CONSOMMATION DE P DE L'ALIMENT ENGRAISSEMENT PORC PAS A SUR LA COMPOSITION DES ALIMENTS DANS UN CONTEXTE DE DISPONIBILITE ELARGIE EN MATIERES PREMIERES.....	126
FIGURE 54 : REDUCTION DE L'IMPACT CONSOMMATION D'ENERGIE NON RENOUVELABLE DE L'ALIMENT ENGRAISSEMENT PORC PAS A PAS ET INCIDENCE SUR LE PRIX ET LES AUTRES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DANS UN CONTEXTE DE DISPONIBILITE LIMITEE EN MATIERES PREMIERES.....	127
FIGURE 55 : EFFET DE LA REDUCTION DE L'IMPACT CONSOMMATION D'ENERGIE NON RENOUVELABLE DE L'ALIMENT ENGRAISSEMENT PORC PAS A SUR LA COMPOSITION DES ALIMENTS DANS UN CONTEXTE DE DISPONIBILITE LIMITEE EN MATIERES PREMIERES	127
FIGURE 56 : REDUCTION DE L'IMPACT CONSOMMATION D'ENERGIE NON RENOUVELABLE DE L'ALIMENT ENGRAISSEMENT PORC PAS A PAS ET INCIDENCE SUR LE PRIX ET LES AUTRES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DANS UN CONTEXTE DE DISPONIBILITE ELARGIE EN MATIERES PREMIERES.....	128

FIGURE 57 : EFFET DE LA REDUCTION DE L'IMPACT CONSOMMATION D'ENERGIE NON RENOUVELABLE DE L'ALIMENT ENGRAISSEMENT PORC PAS A SUR LA COMPOSITION DES ALIMENTS DANS UN CONTEXTE DE DISPONIBILITE ELARGIE EN MATIERES PREMIERES	128
FIGURE 58 : REDUCTION DE L'IMPACT CHANGEMENT CLIMATIQUE DE L'ALIMENT ENGRAISSEMENT PORC PAS A PAS ET INCIDENCE SUR LE PRIX ET LES AUTRES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DANS UN CONTEXTE DE DISPONIBILITE LIMITEE EN MATIERES PREMIERES	129
FIGURE 59 : EFFET DE LA REDUCTION DE L'IMPACT CHANGEMENT CLIMATIQUE DE L'ALIMENT ENGRAISSEMENT PORC PAS A SUR LA COMPOSITION DES ALIMENTS DANS UN CONTEXTE DE DISPONIBILITE LIMITEE EN MATIERES PREMIERES	129
FIGURE 60 : REDUCTION DE L'IMPACT CHANGEMENT CLIMATIQUE DE L'ALIMENT ENGRAISSEMENT PORC PAS A PAS ET INCIDENCE SUR LE PRIX ET LES AUTRES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DANS UN CONTEXTE DE DISPONIBILITE ELARGIE EN MATIERES PREMIERES	130
FIGURE 61 : EFFET DE LA REDUCTION DE L'IMPACT CHANGEMENT CLIMATIQUE DE L'ALIMENT ENGRAISSEMENT PORC PAS A SUR LA COMPOSITION DES ALIMENTS DANS UN CONTEXTE DE DISPONIBILITE ELARGIE EN MATIERES PREMIERES	130
FIGURE 62 : REDUCTION DE L'IMPACT ACIDIFICATION DE L'ALIMENT ENGRAISSEMENT PORC PAS A PAS ET INCIDENCE SUR LE PRIX ET LES AUTRES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DANS UN CONTEXTE DE DISPONIBILITE LIMITEE EN MATIERES PREMIERES	131
FIGURE 63 : EFFET DE LA REDUCTION DE L'IMPACT ACIDIFICATION DE L'ALIMENT ENGRAISSEMENT PORC PAS A SUR LA COMPOSITION DES ALIMENTS DANS UN CONTEXTE DE DISPONIBILITE LIMITEE EN MATIERES PREMIERES	132
FIGURE 64 : REDUCTION DE L'IMPACT ACIDIFICATION DE L'ALIMENT ENGRAISSEMENT PORC PAS A PAS ET INCIDENCE SUR LE PRIX ET LES AUTRES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DANS UN CONTEXTE DE DISPONIBILITE ELARGIE EN MATIERES PREMIERES	132
FIGURE 65 : EFFET DE LA REDUCTION DE L'IMPACT ACIDIFICATION DE L'ALIMENT ENGRAISSEMENT PORC PAS A SUR LA COMPOSITION DES ALIMENTS DANS UN CONTEXTE DE DISPONIBILITE ELARGIE EN MATIERES PREMIERES	133
FIGURE 66 : REDUCTION DE L'IMPACT EUTROPHISATION DE L'ALIMENT ENGRAISSEMENT PORC PAS A PAS ET INCIDENCE SUR LE PRIX ET LES AUTRES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DANS UN CONTEXTE DE DISPONIBILITE LIMITEE EN MATIERES PREMIERES	134
FIGURE 67 : EFFET DE LA REDUCTION DE L'IMPACT EUTROPHISATION DE L'ALIMENT ENGRAISSEMENT PORC PAS A SUR LA COMPOSITION DES ALIMENTS DANS UN CONTEXTE DE DISPONIBILITE LIMITEE EN MATIERES PREMIERES	134
FIGURE 68 : REDUCTION DE L'IMPACT EUTROPHISATION DE L'ALIMENT ENGRAISSEMENT PORC PAS A PAS ET INCIDENCE SUR LE PRIX ET LES AUTRES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DANS UN CONTEXTE DE DISPONIBILITE ELARGIE EN MATIERES PREMIERES	135
FIGURE 69 : EFFET DE LA REDUCTION DE L'IMPACT EUTROPHISATION DE L'ALIMENT ENGRAISSEMENT PORC PAS A SUR LA COMPOSITION DES ALIMENTS DANS UN CONTEXTE DE DISPONIBILITE ELARGIE EN MATIERES PREMIERES	135
FIGURE 70 : REDUCTION DE L'IMPACT UTILISATION DES TERRES DE L'ALIMENT ENGRAISSEMENT PORC PAS A PAS ET INCIDENCE SUR LE PRIX ET LES AUTRES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DANS UN CONTEXTE DE DISPONIBILITE LIMITEE EN MATIERES PREMIERES .	136
FIGURE 71 : EFFET DE LA REDUCTION DE L'IMPACT UTILISATION DES TERRES DE L'ALIMENT ENGRAISSEMENT PORC PAS A SUR LA COMPOSITION DES ALIMENTS DANS UN CONTEXTE DE DISPONIBILITE LIMITEE EN MATIERES PREMIERES	136
FIGURE 72 : REDUCTION DE L'IMPACT UTILISATION DES TERRES DE L'ALIMENT ENGRAISSEMENT PORC PAS A PAS ET INCIDENCE SUR LE PRIX ET LES AUTRES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DANS UN CONTEXTE DE DISPONIBILITE ELARGIE EN MATIERES PREMIERES .	137
FIGURE 73 : EFFET DE LA REDUCTION DE L'IMPACT UTILISATION DES TERRES DE L'ALIMENT ENGRAISSEMENT PORC PAS A SUR LA COMPOSITION DES ALIMENTS DANS UN CONTEXTE DE DISPONIBILITE ELARGIE EN MATIERES PREMIERES	137
FIGURE 74 : REDUCTION DE L'IMPACT CHANGEMENT CLIMATIQUE SANS CHANGEMENT D'UTILISATION DES TERRES DE L'ALIMENT ENGRAISSEMENT PORC PAS A PAS ET INCIDENCE SUR LE PRIX ET LES AUTRES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DANS UN CONTEXTE DE DISPONIBILITE LIMITEE EN MATIERES PREMIERES	138
FIGURE 75 : EFFET DE LA REDUCTION DE L'IMPACT CHANGEMENT CLIMATIQUE SANS CHANGEMENT D'UTILISATION DES TERRES DE L'ALIMENT ENGRAISSEMENT PORC PAS A SUR LA COMPOSITION DES ALIMENTS DANS UN CONTEXTE DE DISPONIBILITE LIMITEE EN MATIERES PREMIERES	138
FIGURE 76 : REDUCTION DE L'IMPACT CHANGEMENT CLIMATIQUE SANS CHANGEMENT D'UTILISATION DES TERRES DE L'ALIMENT ENGRAISSEMENT PORC PAS A PAS ET INCIDENCE SUR LE PRIX ET LES AUTRES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DANS UN CONTEXTE DE DISPONIBILITE ELARGIE EN MATIERES PREMIERES	139
FIGURE 77 : EFFET DE LA REDUCTION DE L'IMPACT CHANGEMENT CLIMATIQUE SANS CHANGEMENT D'UTILISATION DES TERRES DE L'ALIMENT ENGRAISSEMENT PORC PAS A SUR LA COMPOSITION DES ALIMENTS DANS UN CONTEXTE DE DISPONIBILITE ELARGIE EN MATIERES PREMIERES	139
FIGURE 78 : REDUCTION PROGRESSIVE DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DE L'EQUATION D'OPTIMISATION MULTICRITERE ET AUGMENTATION DU COUT EN FONCTION DES VALEURS DE ALPHA POUR L'ALIMENT CROISSANCE PORC DANS UN CONTEXTE DE DISPONIBILITE LIMITEE EN MATIERES PREMIERES	141
FIGURE 79 : INCIDENCE DE L'OPTIMISATION ENVIRONNEMENTALE DE L'ALIMENT CROISSANCE PORC SUR L'INCORPORATION DES MATIERES PREMIERES DANS UN CONTEXTE DE DISPONIBILITE LIMITEE EN MATIERES PREMIERES	141
FIGURE 80 : POSITIONNEMENT RELATIF DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DES ALIMENTS ET DES ECOALIMENTS EN FONCTION DU CONTEXTE ECONOMIQUE	142
FIGURE 81 : COMPOSITION DE L'ECOALIMENT CROISSANCE ET FINITION ENGRAISSEMENT PORC POUR UN CONTEXTE DE DISPONIBILITE LIMITEE EN MATIERES PREMIERES, POUR LE GRAND OUEST, ET POUR LES 4 CONTEXTES DE PRIX	143

FIGURE 82 : COMPOSITION DE L'ÉCOALIMENT CROISSANCE ET FINITION ENGRAISSEMENT PORC POUR UN CONTEXTE DE DISPONIBILITE ELARGIE EN MATIERES PREMIERES, POUR LE GRAND OUEST, ET POUR LES 4 CONTEXTES DE PRIX	143
FIGURE 83 : COMPOSITION DES ECOALIMENTS CROISSANCE ET FINITION ENGRAISSEMENT PORC DE LA STRATEGIE D'ALIMENTATION MULTIPHASE 4 ALIMENTS POUR UN CONTEXTE DE DISPONIBILITE ELARGIE EN MATIERES PREMIERES, POUR LE GRAND OUEST, ET POUR LES 4 CONTEXTES DE PRIX.....	143
FIGURE 84 : COMPOSITION DES ALIMENTS DEMARRAGE, CROISSANCE ET FINITION POUR LE POULET DE CHAIR FORMULES A MOINDRE COUT, AVEC DES DISPONIBILITES EN MATIERES PREMIERES LIMITEES (CONTEXTE ACTUEL) ET POUR LE SCENARIO D'APPROVISIONNEMENT GRAND OUEST	145
FIGURE 85 : REDUCTION DE L'IMPACT CONSOMMATION DE PHOSPHORE DES ALIMENTS DU POULET DE CHAIR ET INCIDENCE SUR LE PRIX ET LES AUTRES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DANS UN CONTEXTE DE DISPONIBILITE ELARGIE EN MATIERES PREMIERES	146
FIGURE 86 : EFFET DE LA REDUCTION DE L'IMPACT CONSOMMATION EN PHOSPHORE DES ALIMENTS DU POULET DE CHAIR PAS A PAS SUR LA COMPOSITION DES ALIMENTS DANS UN CONTEXTE DE DISPONIBILITE ELARGIE EN MATIERES PREMIERES	146
FIGURE 87 : REDUCTION DE L'IMPACT CONSOMMATION D'ENERGIE DES ALIMENTS DU POULET DE CHAIR ET INCIDENCE SUR LE PRIX ET LES AUTRES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DANS UN CONTEXTE DE DISPONIBILITE ELARGIE EN MATIERES PREMIERES	147
FIGURE 88 : EFFET DE LA REDUCTION DE L'IMPACT CONSOMMATION D'ENERGIE DES ALIMENTS DU POULET DE CHAIR PAS A PAS SUR LA COMPOSITION DES ALIMENTS DANS UN CONTEXTE DE DISPONIBILITE ELARGIE EN MATIERES PREMIERES	147
FIGURE 89 : REDUCTION DE L'IMPACT CHANGEMENT CLIMATIQUE DES ALIMENTS DU POULET DE CHAIR ET INCIDENCE SUR LE PRIX ET LES AUTRES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DANS UN CONTEXTE DE DISPONIBILITE ELARGIE EN MATIERES PREMIERES	148
FIGURE 90 : EFFET DE LA REDUCTION DE L'IMPACT CHANGEMENT CLIMATIQUE DES ALIMENTS DU POULET DE CHAIR PAS A PAS SUR LA COMPOSITION DES ALIMENTS DANS UN CONTEXTE DE DISPONIBILITE ELARGIE EN MATIERES PREMIERES	148
FIGURE 91 : REDUCTION DE L'IMPACT OCCUPATION DES TERRES DES ALIMENTS DU POULET DE CHAIR ET INCIDENCE SUR LE PRIX ET LES AUTRES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DANS UN CONTEXTE DE DISPONIBILITE ELARGIE EN MATIERES PREMIERES	149
FIGURE 92 : EFFET DE LA REDUCTION DE L'IMPACT OCCUPATION DES TERRES DES ALIMENTS DU POULET DE CHAIR PAS A PAS SUR LA COMPOSITION DES ALIMENTS DANS UN CONTEXTE DE DISPONIBILITE ELARGIE EN MATIERES PREMIERES	149
FIGURE 93 : REDUCTION DE L'IMPACT ACIDIFICATION DES ALIMENTS DU POULET DE CHAIR ET INCIDENCE SUR LE PRIX ET LES AUTRES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DANS UN CONTEXTE DE DISPONIBILITE ELARGIE EN MATIERES PREMIERES	150
FIGURE 94 : EFFET DE LA REDUCTION DE L'IMPACT ACIDIFICATION DES ALIMENTS DU POULET DE CHAIR PAS A PAS SUR LA COMPOSITION DES ALIMENTS DANS UN CONTEXTE DE DISPONIBILITE ELARGIE EN MATIERES PREMIERES.....	150
FIGURE 95 : REDUCTION DE L'IMPACT EUTROPHISATION DES ALIMENTS DU POULET DE CHAIR ET INCIDENCE SUR LE PRIX ET LES AUTRES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DANS UN CONTEXTE DE DISPONIBILITE ELARGIE EN MATIERES PREMIERES	151
FIGURE 96 : EFFET DE LA REDUCTION DE L'IMPACT EUTROPHISATION DES ALIMENTS DU POULET DE CHAIR PAS A PAS SUR LA COMPOSITION DES ALIMENTS DANS UN CONTEXTE DE DISPONIBILITE ELARGIE EN MATIERES PREMIERES.....	151
FIGURE 97 : COMPARAISON DU PRIX ET DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DES ECOALIMENTS MOYENS EN CONTEXTES DE DISPONIBILITE DES MATIERES PREMIERES LIMITE OU ELARGI PAR RAPPORT AUX ALIMENTS MOYENS FORMULES A MOINDRE COUT POUR DIFFERENTS CONTEXTES ECONOMIQUES.....	152
FIGURE 98 : INCIDENCE DU CONTEXTE ECONOMIQUE SUR LES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DES ALIMENTS EN VOLAILLE DE CHAIR (ALIMENTS DE REFERENCE ET ECOALIMENTS).....	152
FIGURE 99 : COMPOSITION DES ALIMENTS POULET POUR LES DIFFERENTS CONTEXTES DE DISPONIBILITE DE MATIERES PREMIERES ET LES DIFFERENTES METHODES DE FORMULATION (MOINDRE COUT ET MULTIOBJECTIF)	153
FIGURE 100 : EVOLUTION AUTRES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX ET DU PRIX LORS DE LA MINIMISATION DE L'IMPACT GES SONT REDUITS ; EXEMPLE DE L'ALIMENT VL 40 (CONTEXTE JUIN2012, GRAND OUEST, MP DISPO).....	161
FIGURE 101 : EVOLUTION DE LA COMPOSITION DE L'ALIMENT VL40, LORSQUE LES GES SONT REDUITS SOUS CONTRAINTE DE PRIX ; (CONTEXTE JUIN2012, GRAND OUEST, MP DISPO).....	161
FIGURE 102 : EVOLUTION AUTRES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX ET DU PRIX LORSQUE LES GES SONT REDUITS ; EXEMPLE DE L'ALIMENT VL 18 (CONTEXTE JUIN2012, GRAND OUEST, MP DISPO).....	162
FIGURE 103 : EVOLUTION AUTRES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX ET DU PRIX LORSQUE LES GES SONT REDUITS ; EXEMPLE DE L'ALIMENT JB27 (CONTEXTE JUIN2012, GRAND OUEST, MP DISPO).....	163
FIGURE 104 : EFFET DE L'ORIGINE DU TOURTEAU DE SOJA SUR L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DE L'ALIMENT VL40 (CONTEXTE JUIN-12, GRAND OUEST)	164
FIGURE 105 : COMPOSITIONS DE L'ALIMENT VL40 AVEC LISTE DES MATIERES PREMIERES ELARGIES, EN OPTIMISANT LES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX UN PAR UN	165
FIGURE 106 : COMPOSITIONS DE L'ALIMENT VL18 AVEC LISTE DES MATIERES PREMIERE ELARGIES, EN OPTIMISANT LES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX UN PAR UN	165
FIGURE 107 : MODELE FEEDSIM.....	229
FIGURE 108 : LIEN ENTRE ENVIRONNEMENT ET PRATIQUES - EXEMPLES DE LA FERMENTATION ENTERIQUE/ACHATS D'ALIMENTS ET DE LA GESTION DES EFFLUENTS	232

Liste des tableaux

TABLEAU 1 : MODELES IDENTIFIES POUR L'ANALYSE COMPARATIVE DES EMISSIONS AZOTEES	22
TABLEAU 2 : CAS TYPES ET MODALITES TESTES.....	22
TABLEAU 3 : ARGUMENTAIRE DU PROJET SUR DEUX OPTIONS DE TYPE DE DONNEES DE MP A PRODUIRE PAR LE PROJET ECOALIM SUR LA BASE DES ECHANGES EN COMITE DE PILOTAGE	25
TABLEAU 4 : INDICATEURS ET METHODES DE CARACTERISATION CHOISIS.....	28
TABLEAU 5 : MODELES D'EMISSIONS UTILISES AU CHAMP POUR LE CALCUL DES ICV	29
TABLEAU 6 : DESCRIPTION DES CONTEXTES ECONOMIQUES RETENUS POUR L'ETUDE AINSI QUE LE CONTEXTE MOYEN SUR LA PERIODE CONSIDEREE 2011-2014	31
TABLEAU 7 : DESCRIPTION DES SCENARIOS D'APPROVISIONNEMENT	32
TABLEAU 8 : METHODES EXISTANTES DE FORMULATION PRENANT EN COMPTE DES CRITERES ENVIRONNEMENTAUX GES : EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE ; EU : EUTROPHISATION POTENTIELLE ; N : AZOTE ; P : PHOSPHORE ; EN : CONSOMMATION D'ENERGIE NON RENOUVELABLE ; AC : ACIDIFICATION POTENTIELLE	33
TABLEAU 9 : STRATEGIES D'ALIMENTATION POUR LESQUELLES DES OPTIMISATIONS ENVIRONNEMENTALES D'ALIMENTS ONT ETE REALISEES DANS LE CADRE D'ECOALIM	34
TABLEAU 10 : CARACTERISTIQUES TECHNICO-ECONOMIQUES DU CAS TYPE PORC BRETAGNE	36
TABLEAU 11 : CARACTERISTIQUES TECHNICO-ECONOMIQUES DU CAS TYPE POULET STANDARD EN PAYS-DE-LA-LOIRE	36
TABLEAU 12 : BILAN ALIMENTAIRE DES JEUNES BOVINS A L'ENGRAISSEMENT DU CAS D'ETUDE GRAND EST LOIRE (SOURCE : RESEAUX D'ELEVAGE, 2010)	39
TABLEAU 13 : MODELES UTILISES PAR FLUX ET PAR POSTE POUR LES ACV DES PRODUITS ANIMAUX.....	41
TABLEAU 14 : OUTILS MOBILISES POUR LE CALCUL DES ACV DES PRODUITS ANIMAUX	41
TABLEAU 15 : SYNTHESE DES CHOIX METHODOLOGIQUES ACV DANS ECOALIM (EN ROUGE : LES DIFFERENCES AVEC AGRIBALYSE)	44
TABLEAU 16 : ATOUTS ET LIMITES CONCERNANT LES MODELES D'ESTIMATION DES EMISSIONS D'AZOTE ET DANS LE CADRE D'ECOALIM (EN GRAS, LES MODELES RETENUS POUR LA REALISATION DES INVENTAIRES ECOALIM).....	46
TABLEAU 17: AVANTAGES ET LIMITES DES DIFFERENTES D'ALLOCATION DES APPORTS DE P (EN GRAS, L'OPTION RETENUE POUR LA REALISATION DES INVENTAIRES ECOALIM)	47
TABLEAU 18 : AVANTAGES ET LIMITES DE LA REGLE D'ALLOCATION DU NITRATE RETENUE DANS LE CADRE D'ECOALIM	49
TABLEAU 19 : SYNTHESE DES METHODES DE CARACTERISATION « SITE-DEPENDANT » UA, HI ET AE	51
TABLEAU 20 : DONNEES CONCERNANT L'IMPACT D'UTILISATION D'EAU DOUCE A RECOLTER DANS LE CADRE ECOALIM	52
TABLEAU 21 : VALEURS D'IMPACT POUR LES PRINCIPALES MATIERES PREMIERES CULTIVEES FRANÇAISES, SORTIE ORGANISME STOCKEUR, EXPRIMEES POUR 1 KG DE MATIERE PREMIERE	54
TABLEAU 22 : VALEURS D'IMPACT POUR CERTAINES MATIERES PREMIERES TRANSFORMEES, SORTIE USINE DE PRODUCTION, EXPRIMEES POUR 1 KG DE MATIERE PREMIERE	55
TABLEAU 23 : VARIATION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DES ALIMENTS TEMOINS EN FONCTION DES DIFFERENTS SCENARIOS ECONOMIQUES, CONTEXTE GRAND OUEST, SCENARIO LIM	60
TABLEAU 24 : VARIATION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DES ALIMENTS TEMOINS POULET DE CHAIR EN FONCTION DES DIFFERENTS SCENARIOS D'APPROVISIONNEMENT EN MP, CONTEXTE JUIN 2012, SCENARIO LIM.....	61
TABLEAU 25 : MATRICE DES REDUCTIONS DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX OBTENUS POUR LES ALIMENTS COMPOSES, EN MINIMISANT UN SEUL DES IMPACTS A LA FOIS (CONTEXTE : PRIX JUIN 2012, GRAND OUEST, SCENARIO NLIM)	61
TABLEAU 26 : PRIX MOYENS ET IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX (\pm CART-TYPE) D'UNE TONNE D'ALIMENT MOYEN (40% CROISSANCE ET 60% FINITION) SELON LES 4 SCENARIOS ETUDIES, AVEC LES VARIATIONS (Δ) EN MINMO EN POURCENTAGE RELATIVEMENT A MINPRIX.....	66
TABLEAU 27 : COMPOSITION DE L'ALIMENT VL40 TEMOIN DE DE L'ECOALIMENT	72
TABLEAU 28 : COMPOSITION DE L'ALIMENT VL18 TEMOIN DE DE L'ECOALIMENT	72
TABLEAU 29 : COMPOSITION DE L'ALIMENT JB27 TEMOIN DE DE L'ECOALIMENT.....	72
TABLEAU 30 : MATRICE DES REDUCTIONS DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX OBTENUS POUR LES ECOALIMENTS COMPOSES, EN UTILISANT LA FONCTION MULTI OBJECTIF POUR UN CONTEXTE DE DISPONIBILITE EN MP LIMITEE, EN RAISONNANT PAR FILIERE ANIMALE	73
TABLEAU 31 : RELATIONS ENTRE LES VARIATIONS DES INDICATEURS ECONOMIQUES OU ENVIRONNEMENTAUX A L'ECHELLE DE L'ALIMENT (ΔX) ET DU PRODUIT (ΔY) (REGRESSIONS LINEAIRES REALISEES AVEC N=120).....	83
TABLEAU 32 : AMELIORATION/DEGRADATION DES CRITERES ECONOMIQUE ET ENVIRONNEMENTAUX A L'ECHELLE DU PRODUIT EN FONCTION DE LA STRATEGIE ALIMENTAIRE (REF : REFERENCE, EM-AA+ : AMELIOREE), DU CONTEXTE DE DISPONIBILITE DES MATIERES PREMIERES (LIM, NLIM) ET DE LA METHODE DE FORMULATION (MINPRIX, MINMO)	84
TABLEAU 33 : MATRICE DES REDUCTIONS DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DES PRODUITS ANIMAUX AU PORTAIL DE LA FERME AVEC UNE UTILISATION DES ECOALIMENTS COMPOSES, EN UTILISANT LA FONCTION MULTI OBJECTIF POUR UN CONTEXTE DE DISPONIBILITE EN MP LIMITEE	87

TABLEAU 34 : TONNAGE DES ALIMENTS DU BETAIL EN BRETAGNE DE 2011 A 2014.....	88
TABLEAU 35 : POURCENTAGE D'UTILISATION DES MATIERES PREMIERES MOBILISEES DANS LES ALIMENTS COMPOSES PRODUITS EN BRETAGNE ENTRE FILIERES ANIMALE.....	89
TABLEAU 36 : TAUX D'INCORPORATION MOYENS DES MATIERES PREMIERES DANS LES ALIMENTS COMPOSES DES DIFFERENTES FILIERES ANIMALES EN BRETAGNE	89
TABLEAU 37 : MATRICE DES REDUCTIONS DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX OBTENUS POUR LES ALIMENTS COMPOSES, EN MINIMISANT UN SEUL DES IMPACTS A LA FOIS (CONTEXTE : PRIX JUIN 2012), SANS CONTRAINTES SUR LE PRIX, POUR LE TERRITOIRE DU GRAND OUEST.....	91
TABLEAU 38 : IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DES ALIMENTS ENGRAISSEMENT PORC FORMULÉS SUR LE PRIX AVEC DES DISPONIBILITÉS EN MATIÈRES PREMIÈRES LIMITÉES (CONTEXTE ACTUEL) ET POUR LE SCÉNARIO D'APPROVISIONNEMENT GRAND OUEST	120
TABLEAU 39 : IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DES ALIMENTS ENGRAISSEMENT PORC FORMULÉS SUR LE PRIX AVEC DES DISPONIBILITÉS EN MATIÈRES PREMIÈRES ÉLARGIES (SCÉNARIO PROSPECTIF) ET POUR LE SCÉNARIO D'APPROVISIONNEMENT GRAND OUEST... ..	121
TABLEAU 40 : COMPARAISON DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DES ALIMENTS ENGRAISSEMENT PORC FORMULES SUR LE PRIX ENTRE UN CONTEXTE DE DISPONIBILITE EN MATIERES PREMIERES LIMITE ET ELARGI, POUR LE SCÉNARIO D'APPROVISIONNEMENT GRAND OUEST	121
TABLEAU 41 : VARIATIONS DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DES ALIMENTS AU PASSAGE D'UN APPROVISIONNEMENT LOCAL A UN APPROVISIONNEMENT GRAND OUEST	122
TABLEAU 42 : VARIATIONS DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DES ALIMENTS AU PASSAGE D'UN APPROVISIONNEMENT LOCAL A UN APPROVISIONNEMENT SUD.....	122
TABLEAU 43 : VARIATIONS DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DES ALIMENTS LORSQUE LE TRANSPORT DES CEREALES ET COPRODUITS DE CEREALES EST REALISE PAR TRAIN.....	122
TABLEAU 45 : SYNTHESE DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DES TROIS ALIMENTS TEMOINS POUR BOVINS (CONTEXTE JUIN 2012, GRAND OUEST)	156
TABLEAU 45 : IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DE L'ALIMENT TEMOIN COMPOSE BOVIN VL 40 (OPTIMISE SUR LE PRIX, CONTEXTE ACTUEL DE DISPONIBILITE EN MP, SITUATION GRAND OUEST)	157
TABLEAU 46 : COMPOSITION DE L'ALIMENT VL 40 – ALIMENT TEMOIN (OPTIMISE SUR LE PRIX, CONTEXTE ACTUEL DE DISPONIBILITE EN MP, SITUATION GRAND OUEST).....	157
TABLEAU 47 : IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DE L'ALIMENT TEMOIN COMPOSE BOVIN VL 18 (OPTIMISE SUR LE PRIX, CONTEXTE ACTUEL DE DISPONIBILITE EN MP, SITUATION GRAND OUEST)	158
TABLEAU 49 : COMPOSITION DE L'ALIMENT VL 18 – ALIMENT TEMOIN (OPTIMISE SUR LE PRIX, CONTEXTE ACTUEL DE DISPONIBILITE EN MP, SITUATION GRAND OUEST).....	158
TABLEAU 50 : IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DE L'ALIMENT TEMOIN COMPOSE BOVIN JB 27 (OPTIMISE SUR LE PRIX, CONTEXTE ACTUEL DE DISPONIBILITE EN MP, SITUATION GRAND OUEST)	159
TABLEAU 51 : COMPOSITION DE L'ALIMENT JB 27 – ALIMENT TEMOIN (OPTIMISE SUR LE PRIX, CONTEXTE ACTUEL DE DISPONIBILITE EN MP, SITUATION GRAND OUEST).....	159
TABLEAU 52 : EVOLUTION DE L'IMPACT GES DE L'ALIMENT VL40 EN FONCTION DE L'ORIGINE DU TOURTEAU DE SOJA.....	164
TABLEAU 53 : IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DE L'ALIMENT VL 40 – ALIMENT OPTIMISE (FONCTION MULTIOBJECTIF, CONTEXTE DE MP LIMITE, SITUATION GRAND OUEST)	167
TABLEAU 54 : COMPOSITION DE L'ALIMENT VL 40 – ALIMENT OPTIMISE (FONCTION MULTIOBJECTIF, CONTEXTE DE MP LIMITE, SITUATION GRAND OUEST)	167
TABLEAU 55 : IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DE L'ALIMENT VL 18 – ALIMENT OPTIMISE (FONCTION MULTIOBJECTIF, CONTEXTE DE MP LIMITE, SITUATION GRAND OUEST)	168
TABLEAU 56 : COMPOSITION DE L'ALIMENT VL 18 – ALIMENT OPTIMISE (FONCTION MULTIOBJECTIF, CONTEXTE DE MP LIMITE, SITUATION GRAND OUEST)	168
TABLEAU 57 : IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DE L'ALIMENT JB 27 – ALIMENT OPTIMISE (FONCTION MULTIOBJECTIF, CONTEXTE DE MP LIMITE, SITUATION GRAND OUEST)	169
TABLEAU 58 : COMPOSITION DE L'ALIMENT JB 27 – ALIMENT OPTIMISE (FONCTION MULTIOBJECTIF, CONTEXTE DE MP LIMITE, SITUATION GRAND OUEST)	169
TABLEAU 59 : IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DE L'ALIMENT VL 40 – ALIMENT OPTIMISE (FONCTION MULTIOBJECTIF, CONTEXTE DE MP NON LIMITE, SITUATION GRAND OUEST)	171
TABLEAU 60 : COMPOSITION DE L'ALIMENT VL 40 – ALIMENT OPTIMISE (FONCTION MULTIOBJECTIF, CONTEXTE DE MP NON LIMITE, SITUATION GRAND OUEST)	171
TABLEAU 61 : IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DE L'ALIMENT VL 18 – ALIMENT OPTIMISE (FONCTION MULTIOBJECTIF, CONTEXTE DE MP NON LIMITE, SITUATION GRAND OUEST)	172
TABLEAU 62 : COMPOSITION DE L'ALIMENT VL 18 – ALIMENT OPTIMISE (FONCTION MULTIOBJECTIF, CONTEXTE DE MP NON LIMITE, SITUATION GRAND OUEST)	172

TABLEAU 63 : IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DE L'ALIMENT JB 27 – ALIMENT OPTIMISE (FONCTION MULTIOBJECTIF, CONTEXTE DE MP NON LIMITE, SITUATION GRAND OUEST)	173
TABLEAU 64 : COMPOSITION DE L'ALIMENT JB 27 – ALIMENT OPTIMISE (FONCTION MULTIOBJECTIF, CONTEXTE DE MP NON LIMITE, SITUATION GRAND OUEST)	173
TABLEAU 65 : IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX EVALUES DANS CAP'2ER.....	231
TABLEAU 66 : CONTRIBUTIONS POSITIVES ET DURABILITE DES EXPLOITATIONS EVALUEES DANS CAP'2ER	232

1. Résumé & mots clés

Résumé :

Les élevages doivent diminuer leur contribution à des impacts environnementaux majeurs comme le Changement Climatique. Cette attente est notamment relayée par la société qui pourrait prochainement disposer de critères environnementaux pour étayer ses choix de consommation : un affichage environnemental des produits de consommation est réfléchi au niveau européen.

L'alimentation animale avec les aliments composés occupe un poste clé dans les bilans environnementaux des élevages granivores : elle explique environ la moitié de la plupart des impacts environnementaux évalués par les premières Analyses de Cycle de Vie (ACV) de produits animaux en sortie de ferme (œuf, viande). En production herbivore, les aliments composés occupe une part plus réduite de la ration mais le nombre important de bovin à l'échelle d'un territoire comme le Grand Ouest en fait une filière significative en terme de mobilisation de matières premières. De fait, la fabrication des aliments composés mobilise, sur la base de cahiers de charges (nutritionnels) propres à chaque espèce, un gisement commun de matières premières d'où la pertinence de raisonner une optimisation de l'alimentation avec une approche multi-filière.

Dans un tel contexte, les instituts techniques (IFIP, ITAVI, Institut de l'Élevage, Arvalis Institut du végétal, et Terres Inovia), l'INRA et Feedsim Avenir ont étudié les possibles améliorations des bilans environnementaux des élevages en optimisant l'alimentation des animaux.

Les bilans environnementaux des matières premières (MP), des aliments du bétail et des produits animaux dans le cadre du projet ont été renseignés par ACV (impacts Changement Climatique, Consommation d'énergie, Consommation de phosphore, Occupation de surfaces, Eutrophisation et Acidification), avec des indicateurs complémentaires économiques. Le projet a produit :

- 150 références environnementales de matières premières utilisées ou utilisables en alimentation animale, mises à disposition dans les bases de données référentes (Agribalyse, tables d'alimentation du bétail). Ces données prennent en compte différents itinéraires de production pour les principales MP, et les différents lieux d'approvisionnement des fabricants d'aliments.
- Des avancées méthodologiques sur les réalisations d'ACV à l'échelle de la rotation culturale et des pistes de modèles de flux plus précis et sensibles aux itinéraires de production
- Une méthode de prise en compte de critères environnementaux dans la formulation des aliments composés sous forme d'une fonction multi-objectif avec le coût et 4 impacts environnementaux globaux. Cette méthode est proposée en formation.
- Des formules d'écoalimentations pour les différentes filières animales, différents contextes de prix et de disponibilité en MP. Des potentiels de réductions de l'impact changement climatique ont été mesurés de -11% à -23% (en comparaison d'aliments standards formulés à moindre coût) en conditions de disponibilité en MP limitée et pour un surcoût inférieur à 4%. A l'échelle des produits animaux, le bénéfice est amoindri : légèrement en production de poulet de chair avec une réduction d'impact changement climatique de 13%, de façon plus importante en porc (réduction d'impact de -5-7%) et fortement en production bovine (-2%).
- Une mise en œuvre d'optimisation à l'échelle d'un territoire, le Grand Ouest. L'optimisation conjointe montre que les possibilités de réduction sont plus réduites qu'à l'échelle individuelle des productions animales. En effet, les mêmes matières premières sont appelées par les différentes espèces et peuvent être présentes en quantités limitées (cas du pois ou de la féverole). La réduction de l'impact changement climatique des aliments du bétail est réduit de 7% pour un surcoût de 2%.

Mots Clés : alimentation animale, formulation, ACV, impacts environnementaux, élevages

Abstract :

Animal productions have to reduce their environmental impacts like Climate change. This becomes a demand from the society and this is all the more important as consumers could have access in a near future to an environmental information associated to products they buy (ecolabelling)..

Feeds have a huge incidence on the environmental impacts of pigs and broilers at farm exit : it explains approximatively half of the main environmental impacts assessed by life cycle (LCA). For cattle production, the compound feeds is only a part of the ration. But cattle production at territory scale (e.g. Grand Ouest of France) can have a significative impact concerning the use of feedstuffs because of the numerous cattle.

The production of feeds adapted to specifications and animal needs uses a common field of feedstuffs. Thereby, the optimization of animal feed with multi-production approach is relevant. In such a context, the technical institutes (IFIP, ITAVI, Institut de l'Élevage, Arvalis Institut du végétal, et Terres Inovia), l'INRA and Feedsim Avenir have studied the possibles improvements of the animal impacts thanks to the feeds.

The environmental impacts have been assessed by LCA for the feedstuffs, the feeds, and animal products (impacts climate change, energy consumption, phosphorous consumption, land occupation, eutrophication and acidification). Complementary indicators have been used to assess the economical incidence. The results of the project are :

- 150 environmental references of the impacts of feedstuffs used or usable in animal feed. Those references have been integrated in official databases (Agribalyse, livestock feeding tables). Those data consider different production processes, and the different types of supply locations of feed manufacturers.
- Methodological improvements concerning the LCA at the scale of crops rotations and identification of models more accurate (more sensitive to practices) to assess environmental fluxes.
- A methodology to consider environmental criteria in feed formulation. It is a multiobjective function which takes into account the cost and four environmental impacts. This methodology is proposed in training sessions for feed manufacturers.
- - Exemples of eco feed formulas for different animal productions, different economical contexts and different contexts of feedstuffs availability. For climate change for instance, potential of reduction at feed scale was from -11% à -23% (by comparing to standard feeds formulated at least cost) by considering a limited access to feedstuffs. The over-cost was lower than 4%. At animal scale, the benefit still exists but is reduced : slightly in broiler production where the reduction of impact is 13%, more in pig production with a residual impact reduction of -6%, and in an important way in cattle production because the final reduction is only of 2%.
- - An implementation of the environmental optimization of feeds at territory scale (Grand Ouest of France). The joint optimization shows potential of impacts reduction lower than at individual scale of each animal production. Indeed, the same feedstuffs are asked by the animal productions and those feedstuffs could be present in a limited quantity (e.g : pea and faba). The reduction of the impact climat change is 7% with an overcost of 2%.

Keywords : animal feed, formulation, LCA, environmental impacts, livestock

Key words:

2. Contexte général du projet

Le contexte, incitant les élevages à améliorer leur bilan environnemental sur l'ensemble du cycle de vie, a justifié l'émergence du projet.

La FAO (2009) identifie l'élevage comme une activité stratégique à améliorer sur l'impact du Changement Climatique : les émissions de gaz à effet de serre liées à la production de viande représentent environ 18% du total des émissions mondiales.

Le cadre réglementaire, avec la Directive IPPC (Integrated Pollution Prevention and Control) du 24 septembre 1996, contraint les élevages à améliorer leur bilan environnemental sur l'ensemble des impacts, de manière intégrée. Les impacts environnementaux doivent être limités en évitant les transferts de pollution. Cette directive est applicable depuis le 30 octobre 2007 pour un nombre important d'activités industrielles. En production animale, sont concernés les élevages de porcs de plus de 2000 places de porcs de plus de 30 kg ou 750 emplacements de truies ainsi que les ateliers avicoles de plus de 40000 emplacements.

Enfin, pour clarifier l'information du grand public et promouvoir l'éco-consommation, le Grenelle de l'environnement a lancé la mise en place d'un affichage environnemental des produits de consommations (loi n°2009-967 du 3 août 2009). Il concerne plusieurs impacts environnementaux (approche multicritère) générés par un produit tout au long de son cycle de vie, en s'appuyant sur les normes ISO 14040 et ISO 14044. Pour répondre à cet objectif, une plate-forme générale sur l'affichage environnemental encadrée par l'ADEME et l'AFNOR a été initiée. Sa mission est de mettre en place une méthode simplifiée d'évaluation des impacts environnementaux et d'explorer les différentes possibilités pour un format de restitution. Un référentiel de bonnes pratiques AFNOR BP X 30-323 établit les principes généraux pour que les entreprises qui souhaitent s'engager dans cette démarche puissent le faire sur la base d'un même socle. C'est un enjeu social que de permettre aux consommateurs soucieux du bilan écologique de leur alimentation de disposer de produits animaux présentant de meilleurs bilans environnementaux.

Dans cette dynamique d'amélioration environnementale des élevages, l'alimentation des animaux s'avère être un poste prioritaire à optimiser (Bouvarel et al., 2010). Elle impacte notablement les différentes étapes de cycle de vie des produits animaux:

- Lors de la production des aliments : de manière directe sur l'exploitation lorsque les aliments sont produits sur l'exploitation, ou en amont (impacts indirects) lorsque l'éleveur achète ses aliments. Les premières ACV de produits animaux indiquent que la production et l'approvisionnement des aliments peuvent contribuer jusqu'à environ 50% de la plupart des impacts environnementaux de kilogramme de viande (Basset-Mens et Van der Werf, 2004 ; Cederberg, 1998 et 2004 ; Rossier, 2001 ; Williams et al., 2006). La production des intrants alimentaires des porcs et des volailles émet autant de gaz à effet de serre que les postes liés à la gestion des animaux et de leurs effluents.
- L'alimentation a également une incidence sur les rejets d'azote et de phosphore par les effluents et les impacts associés. Ces derniers peuvent être sensibles dans des contextes d'excédents structurels comme celui de la Bretagne. A cet égard, de nombreux travaux mettent à disposition des équations de rétention des différents nutriments par les animaux (modèle Bilan Réel Simplifié, Corpen, 2003 et 2006).

Des éléments de contexte actuels ou récurrents laissent entrevoir des évolutions nécessaires, ou du moins attendues et souhaitées (enjeux sociaux), en matière d'alimentation des animaux d'élevage.

- Les élevages sont invités à diminuer les importations de soja en provenance du Brésil, accusées de contribuer à la destruction de la forêt primaire amazonienne (puits de carbone à enjeu mondial) ; elles supportent aussi des distances de transport élevées et contiennent, le cas échéant, des OGM. Des produits issus de cultures métropolitaines (tourteaux de colza et de tournesol), des protéagineux et des acides aminés de synthèse peuvent le plus souvent se substituer au tourteau de soja.

- Dans le contexte d'une forte augmentation attendue de la population mondiale, les productions animales se voient reprocher la mobilisation de surfaces pour la production d'aliments du bétail non directement consommés par l'homme (une part importante de la surface agricole de l'Union Européenne est dévolue à l'alimentation des cheptels). Une amélioration des performances techniques des ateliers animaux est donc à rechercher.
- Les filières animales ont la capacité de valoriser des coproduits de filières industrielles et agroalimentaires (meunerie et amidonnerie). De nouvelles filières se développent et ouvrent des opportunités à de nouveaux gisements de coproduits (drêches d'éthanol, tourteaux de colza ; FranceAgriMer, 2009).
- Les élevages et les fabricants d'aliments peuvent mobiliser des matières premières produites localement, dans une logique de consommation de proximité. C'est souvent le cas des fabricants d'aliments à la ferme qui représentent 10% des élevages en volaille et 25 à 30% des éleveurs en porcs : ils interviennent directement sur le choix des intrants et leurs niveaux d'incorporation dans les aliments des porcs. Selon le cas, ils produisent, ou non, une part des matières premières nécessaires (céréales notamment) sur l'exploitation.
- Les élevages ont réduit leurs rejets en évoluant d'une alimentation dite « standard » à une alimentation par phases permettant de mieux ajuster les apports aux besoins des animaux. Néanmoins, de nouvelles améliorations de l'efficacité d'utilisation des nutriments par les animaux afin de réduire l'excrétion associée (N, P, K, Cu, Zn...) ou les émissions (CH₄) sont encore possibles comme, par exemple, l'alimentation séquentielle en volaille ou multiphase en porc. L'utilisation de nouvelles matières premières non transformées est aussi envisageable : blé entier en alimentation avicole par exemple, ...

Ces attentes d'évolutions doivent être évaluées du point de vue de leur efficacité sur l'ensemble des impacts environnementaux et de leur applicabilité.

Soulignons que dans ce contexte, le raisonnement de l'alimentation des porcs et des volailles et des aliments composés des bovins se fait dans l'étape de formulation conditionnée à ce jour essentiellement par des critères nutritionnels et de marché. L'objectif suivi est de produire au moindre coût des rations équilibrées satisfaisant les besoins des animaux. Ces formules doivent en outre permettre de fabriquer des aliments appétents et possédant des caractéristiques qui faciliteront leur fabrication, leur manipulation et leur conservation. A l'échelle des fabricants d'aliments et de concentrés, l'approvisionnement en matières premières se gère majoritairement au niveau national ou mondial. Les situations de marché conditionnent en permanence des choix de matières premières et des règles d'approvisionnement. D'autres contraintes, liées au cahier des charges des filières qualité, peuvent exister comme celle d'imposer un niveau d'incorporation minimal de céréales dans les rations.

L'alimentation animale a d'importants enjeux économiques pour les filières, notamment dans un contexte de prix mondialisé où les coûts de production peuvent conditionner la viabilité de filières nationales au regard d'autres pays. Pour un atelier porcin par exemple, le poste alimentation **représente entre 60 et 70% du coût de revient (Tableau de bord de la Gestion Technico-Economique)**. Par ailleurs, le choix de combinaisons de matières premières pour l'alimentation animale a des répercussions économiques également sur les filières végétales. Les enjeux économiques associés à ce poste de production sont donc primordiaux et indissociables de toute recherche d'optimisation sur ce poste.

3. Objectifs généraux du projet

Le projet vise à optimiser les aliments composés des animaux d'élevage et leur distribution d'un point de vue environnemental, tout en prenant en compte les contraintes d'ordre économique et social, avec pour finalité de contribuer à réduire les impacts environnementaux des élevages français porcins, avicoles et bovins.

Les objectifs techniques sont :

- D'établir des données des impacts environnementaux (Changement climatique, Consommation d'énergie, Occupation de surface, Eutrophisation, Acidification) des matières premières alimentaires des porcs et des volailles qui soient les plus complètes possibles, homogènes, pertinentes pour la formulation et diffusables,
- D'identifier, sous différents niveaux de contraintes environnementales, nutritionnelles, géographiques et économiques, les voies d'optimisation des aliments composés des animaux avec une évaluation de l'efficacité environnementale des produits obtenus (le kg de porc, de volaille, ...) en sortie d'élevages et les conséquences socio-économiques,
- De formaliser des outils de conseil et de les diffuser auprès des acteurs de l'alimentation animale, de manière à leur permettre la prise en compte de l'environnement dans le raisonnement de l'alimentation animale.

A ces objectifs techniques sont associés des objectifs scientifiques. Il s'agit de raisonner les choix méthodologiques inhérents :

1. à la réalisation des ACV (choix de périmètre, de règles d'allocation, prise en compte des impacts locaux) dans le cadre spécifique de la formulation qui met en concurrence des matières premières,
2. à la prise en compte de plusieurs critères dans un processus de décision,
3. au choix de la granulométrie des références environnementales des matières premières, qui permet d'expliquer la variabilité et qui est traçable par les opérateurs des filières.

4. Organisation du projet

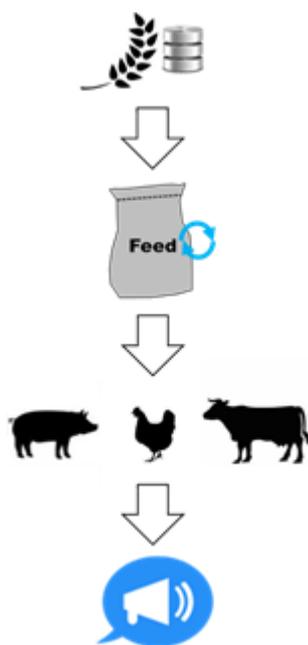
4.1. Contenu du projet avec les différentes tâches

Le projet ECOALIM, lauréat de l'appel à projets REACCTIF 2012, est divisé en quatre tâches.



Tâche 1 : Calage des choix méthodologiques ACV

Il s'agit d'aboutir à des choix méthodologiques, liés à la réalisation des ACV prévues dans le projet, argumentés, documentés et issus de comparaison de scénarios chiffrés.



Tâche 2 : Formalisation de données sur les impacts environnementaux des matières premières utilisées ou utilisables en alimentation animale
 Cette tâche mobilise les

Tâche 3 : Définition de stratégies d'alimentation innovantes pour les élevages d'un point de vue environnemental, en restant vigilant sur leurs conséquences éventuelles d'ordre économique et social.

Une première étape a défini des écoaliments en intégrant des critères environnementaux à l'étape de formulation des aliments et en mobilisant les données de la tâche 2.

Une deuxième étape a évalué les bénéfices environnementaux à l'échelle des produits animaux d'une utilisation des écoaliments en élevage.

Tâche 4 : Formalisation et diffusion d'éléments de conseil pour les acteurs de l'alimentation animale

4.2. Mobilisation du partenariat

La conduite globale du projet a été assurée par Sandrine Espagnol de l'IFIP. Des animateurs relais sont intervenus pour l'animation des différentes tâches au sein de groupes de travail thématiques qui se sont réunis en plus des comités de pilotages. Toutes les réunions du projet sont présentées en annexe 1.

4.2.1. Groupe « méthodologie ACV intrants »

Le groupe de travail était en charge des tâches 1 et 2. Il était co-animée par Aurélie Tailleur (Arvalis), Aurélie Wilfart (INRA) et Sylvie Dauguet (Terres Inovia). Il a réuni les différents partenaires du projet (IFIP, ITAVI, IDELE, INRA, Arvalis, Terres Inovia) et a été en charge du calage des choix méthodologiques liés à la réalisation des ACV du projet.

Le groupe a défini les questions méthodologiques et ces dernières ont ensuite été traitées par un CDD de 10 mois recruté (Hanh Nguyen) et hébergé à l'INRA UMR SAS.

Ce groupe a également été l'occasion de faire le point sur les besoins de nouvelles ACV d'intrants alimentaires et sur la coordination des différents réalisateurs d'ACV (Arvalis, Terres Inovia, INRA).

Le travail du groupe était aussi en charge de la réalisation de la base de données ECOALIM. les inventaires ont été réalisés par l'INRA UMR SAS (produits transformés et matières premières étrangères), ARVALIS (grandes cultures) et Terres Inovia (oléo-protéagineux).

Le groupe a été secondé par un autre CDD de 10 mois (Morgane Magnin) recruté par l'INRA UMR PEGASE, hébergé par l'INRA UMR SAS et co-encadré par Florence Garcia-Launay (UMR PEGASE) et Aurélie Wilfart (UMR SAS).

4.2.2. Groupe « formulation »

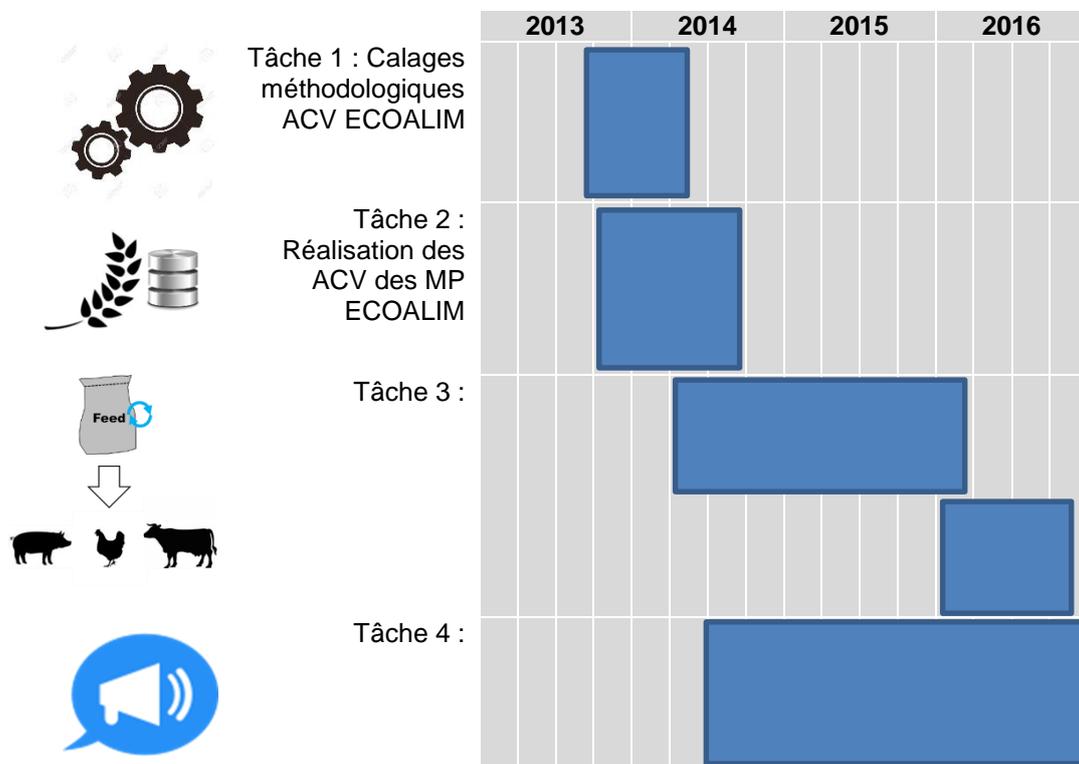
Ce groupe était en charge de l'optimisation environnementale de la formulation au sein de la tâche 3 du projet. Il était co-animé par Isabelle Bouvarel/Léonie Dusart (ITAVI), Didier Gaudré (IFIP) et Laurent Morin (Feedsim Avenir). Ce groupe a eu pour objet de réaliser l'optimisation environnementale des formulations des aliments composés. Il a réuni les compétences en alimentation animale de partenaires du projet de l'ITAVI, de l'IFIP, de l'IDELE et d'Arvalis et a assuré ainsi un lien entre les différentes filières animales en permettant de gérer les données ou les interlocuteurs communs. L'action 3 sera co-animée par Didier GAUDRE (IFIP) et Laurent MORIN (Feedsim Avenir).

Ce groupe a créé en début de projet un comité de futurs utilisateurs des résultats en réunissant des acteurs de l'alimentation animale (Coop de France Nutrition animale, SNIA, AFCA-CIAL, AIRFAF, AFAB, des fabricants d'aliments, des conseillers de chambres d'agriculture). L'objet de ce comité était de conforter la pertinence des choix réalisés, d'échanger sur la méthodologie utilisée, d'expliquer les résultats et de permettre aux futurs utilisateurs d'exprimer leurs besoins et attentes.

4.2.3. Groupe « Evaluation environnementale »

Ce groupe a eu pour mission l'organisation collective autour de la réalisation des évaluations environnementales prévues dans le cadre du projet (évaluation des intrants dans la tâche 2 et évaluation des aliments et des produits animaux dans la tâche 3). Ce groupe était co-animé par Sandrine Espagnol (IFIP) et Armelle Gac (IDELE). Il a réuni les différentes compétences en évaluation environnementale des partenaires techniques.

4.3. Calendrier des réalisations



5. Eléments méthodologiques

5.1. Questions méthodologiques traitées autour de la réalisation des ACV des intrants alimentaires du bétail (tâche 1)

Afin d'aboutir à des choix méthodologiques pour la réalisation des ACV du projet, les étapes suivantes ont été conduites :

- Formalisation des questions méthodologiques spécifiques du projet liées au cadre d'utilisation de la formulation.
- Identification de différentes options méthodologiques, justes du point de vue de l'ACV et pressenties pertinentes techniquement et scientifiquement,
- Définition, renseignement et application de scénarios permettant le test des différentes options,
- Choix sur la base d'argumentaire technique et scientifique d'options méthodologiques pour le projet et validation de ces choix auprès du comité de pilotage,
- Rédaction d'un guide méthodologique reprenant l'argumentaire des choix réalisés.

De part les avancées récentes du programme AGRIBALYSE®, en termes de réalisation d'ACV appliquées aux produits agricoles au portail de la ferme, le projet ECOALIM est reparti des acquis méthodologiques d'AGRIBALYSE®. Pour autant, ECOALIM présente des spécificités qui ont légitimé de consacrer un temps du projet à des calages méthodologiques d'ACV :

- L'échelle d'application des ACV dans ECOALIM est plus fine que celle d'AGRIBALYSE : échelle d'itinéraire technique (ITK) vs échelle nationale. De ce fait, un travail a été conduit sur les modèles de calcul de flux environnementaux, pour s'assurer de leur sensibilité aux différents ITK.
 - o Une meilleure prise en compte des impacts locaux : il s'agit de chercher une amélioration de la prise en compte de l'effet du milieu sur les émissions et sur les impacts environnementaux. Pour répondre à cette question, une étude bibliographique a été conduite afin d'identifier les différentes approches possibles et d'évaluer leur pertinence et leur facilité de mise en œuvre dans le cadre d'ECOALIM.
 - o Une amélioration de la prise en compte des leviers d'action disponibles au cours de la phase de production au champ des matières premières, en particulier en vue de réduire les impacts « changement climatique » et « eutrophisation marine ». Cette question, de même que la précédente question sur la prise en compte des spécificités du milieu, a amené à évaluer différents modèles (cf.5.1.1.) pour trois flux : les nitrates, le protoxyde d'azote et l'ammoniac.
- Le cadre d'utilisation des données ACV des intrants alimentaires dans ECOALIM est la formulation. Lors de cette étape les intrants sont mis en concurrence sur la base de critères choisis. Dans ECOALIM, une optimisation sera faite à partir des données ACV des intrants (critères environnementaux). Le positionnement relatif des valeurs aura donc toute son importance, d'où des questions méthodologiques liées notamment à la prise en compte des ACV au sein des rotations culturales et aux règles d'allocation retenues. En effet, différents travaux et notamment AGRIBALYSE® montrent que l'allocation des impacts de différentes pratiques de fertilisation entre les cultures de la rotation n'est pas simple ; une pratique pouvant bénéficier à plusieurs cultures de la rotation et certaines émissions étant également fonction des pratiques conduites sur la rotation et non sur une

culture. Ainsi, différents travaux ont été menés afin d'identifier les clés d'allocation les plus adaptées pour l'allocation des impacts liés à la gestion de l'azote et à la fertilisation phosphatée et potassique.

Exemple de la question de l'allocation à l'échelle de la succession culturelle illustrée avec le cas du lessivage de nitrates : Le lessivage est un phénomène dépendant des conditions pédo-climatiques et de pratiques culturales. L'azote sous forme nitrate ($N-NO_3^-$) généré par un apport d'engrais n'est en général pas lessivé sur une seule campagne. C'est au cours de l'interculture, laps de temps entre deux cultures principales, que se manifestent les risques les plus élevés de fuite de nitrates dans l'eau. En effet, au cours de cette période se cumulent plusieurs processus :

- d'accumulation d'azote : reliquat d'azote à la récolte de la culture 1 (cf. figure 1), minéralisation depuis la récolte, éventuels apports d'effluents organiques en vue de l'implantation de la culture 2 (cf. figure 1) ;
- de transfert d'azote : absence de couverts susceptibles d'utiliser l'azote présent, excédent pluviométrique contribuant à l'infiltration (COMIFER, 2001).

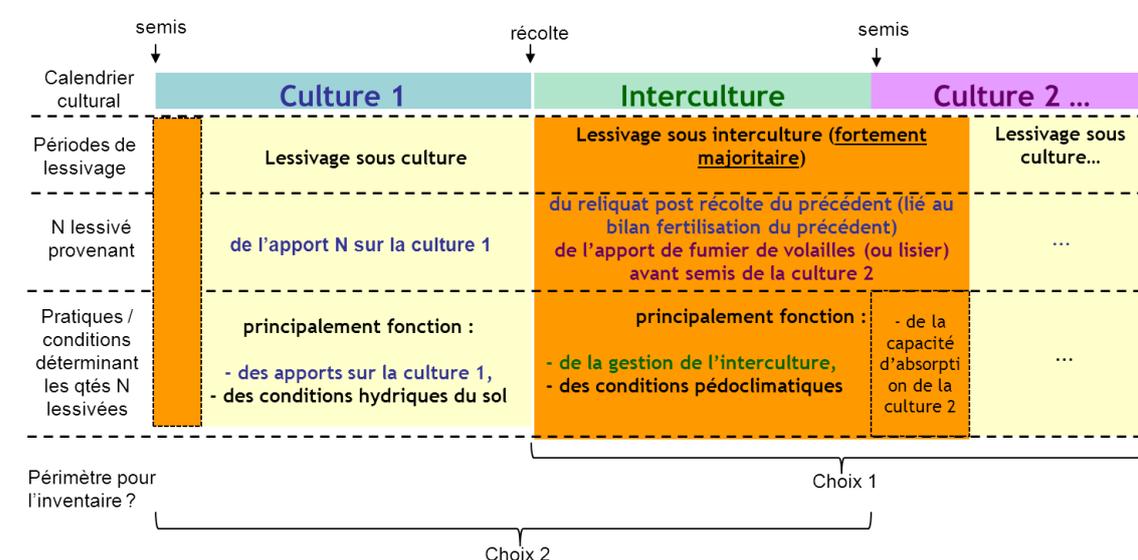


Figure 1: Schéma représentant les phénomènes régissant le lessivage de l'azote sur la succession culturelle et le choix des périmètres pour son étude en ACV

Les modèles d'émission ne permettent pas d'allouer les quantités d'azote lessivées à chacune des cultures d'une rotation. Ils les estiment au cours de différentes périodes (période culturelle, période interculturelle). Les quantités lessivées au cours de chacune de ces périodes sont fonction des conditions pédo-climatiques ainsi que des pratiques sur la culture précédente et la culture suivante. Il est donc difficile de réattribuer une quantité lessivée à chacune des cultures.

Il est courant en ACV de raisonner par période pour allouer le lessivage entre les cultures (Figure 1). Dans le cadre d'Agribalyse, nous avons retenu le choix 2 (le lessivage au cours de l'interculture entre la culture n et $n+1$ est attribué à la culture n). Cela peut poser des problèmes de cohérence avec le périmètre temporel fixé pour l'inventaire à l'échelle d'une culture. En effet, l'impact négatif de certaines pratiques permettant de réduire les émissions de nitrate peuvent se retrouver à attribuer à l'une culture tandis que ce sera une autre qui se verra attribuer une réduction du lessivage.

- L'évaluation d'impacts et de services jugés pertinents dans le cadre de l'alimentation animale et non couverts dans le cadre d'AGRIBALYSE® a également été étudiée. Des travaux bibliographiques ont ainsi été conduits sur différentes approches pour évaluer l'empreinte eau et l'impact sur la biodiversité afin d'évaluer leur pertinence et leur applicabilité dans le cadre d'ECOALIM. Par ailleurs, des indicateurs spécifiques ont été

créées afin de prendre en compte la valorisation de coproduits dans la formulation et la pression en termes d'épuisement du phosphore non renouvelable de l'alimentation animale.

5.1.1. Comparaison de modèles d'émissions azotés à la parcelle

Quatre modèles ont été testés (Tableau 1) sur 2 cas types issus de la ferme de la bibliothèque d'ARVALIS, avec différentes modalités en termes de rotation et de gestion de l'interculture (Tableau 2).

Tableau 1 : Modèles identifiés pour l'analyse comparative des émissions azotées

Lessivage de nitrate (N-NO ₃ -)	Protoxyde d'azote (N-NO ₂) direct	Ammoniac (N-NH ₃)
DEAC*	-	-
SYST'N**	SYST'N	SYST'N
INDIGO***	INDIGO	INDIGO
AGRIBALYSE (Comifer)****	AGRIBALYSE (IPCC, 2006)	AGRIBALYSE (EMEP, 2009)

* Cariolle, 2002 ; ** Parnaudeau et al., 2012 ; *** Bockstaller et Girardin, 2008 ; **** Koch et Salou, 2013

Tableau 2: cas types et modalités testés

Ferme type	Type de sol	Rotations	Gestion de l'interculture	Fertilisation
Bretagne	Limon battant sain	1) colza / blé tendre / orge d'hiver / maïs grain / blé tendre / triticale	Simulation avec / sans CIPAN et repousse de colza	Apports organiques sur colza et maïs
	Limon prof/schiste tendre	2) maïs grain / blé tendre		
	Limon/schiste tendre	3) maïs grain / blé tendre / orge d'hiver		
Bourgogne	Limon argileux profond	1) colza / blé tendre / orge de printemps, colza / blé tendre / orge d'hiver 2) tournesol / blé tendre / orge de printemps	Simulation avec / sans CIPAN et repousse de colza	Apport 100% minéral

Les tests évaluaient d'une part la sensibilité des modèles aux différents ITK (prise en compte des leviers agronomiques et du contexte pédoclimatique), et d'autre part leur facilité de mise en œuvre dans le cadre du projet (accès à l'outil, prise en main, temps d'utilisation, données d'entrée, format des données calculées).

5.1.2. Comparaison de différentes règles d'allocation à l'échelle de la succession culturale

Les travaux ont porté sur les règles d'allocation, des apports en P, du lessivage de nitrates et de l'azote des résidus de récoltes.

Pour les apports en P, les règles suivantes ont été testées sur la base d'un cas type localisé en Champagne Ardennes avec une rotation colza / blé tendre d'hiver (BTH) / betterave / BTH / Orge de printemps (OP) :

- Sans allocation,
- Allocation totale des apports sur la base des exportations,
- Allocation totale des apports sur la base des exportations multipliées par un coefficient multiplicateur fonction de l'exigence des cultures (coefficient fixé à partir des

coefficients proposés par le COMIFER pour estimer les doses préconisées). Différentes valeurs de coefficients ont été testées

- Allocation totale des apports sur la base des préconisations estimées à partir des recommandations du COMIFER pour une teneur du sol en P₂O₅ moyenne (60 ppm),
- Allocation égale entre toutes les cultures de la rotation.

Pour l'allocation du lessivage de nitrate, les règles suivantes ont été testées sur deux cas types issus de la fermothèque d'Arvalis (Bourgogne et Bretagne), avec des modalités avec et sans CIPAN :

- Allouer les quantités lessivées au cours de l'interculture à la culture précédente (règle « précédent »)
- Allouer les quantités lessivées au cours de l'interculture à la culture suivante (règle « suivant »)
- Allouer les quantités lessivées au cours de l'interculture également entre les cultures n et n+1 (règle « 50/50 »)
- Allouer les quantités lessivées sur l'ensemble de la rotation également entre toutes les cultures de la succession culturale (règle « également »)

Les impacts de ces règles ont été évalués à différents niveaux : sur la quantité de nitrate lessivé attribuée à chacune des cultures et sur l'indicateur eutrophisation eau marine de ReCiPe 1.8H. Cette étude a également été complétée par un travail conduit par l'UNIP visant à évaluer plus finement l'effet de la présence de culture sur le lessivage sur la base d'un traitement statistique de résultats issus des expérimentations « Pois – Colza – Blé ».

Pour l'allocation de l'azote des résidus de culture, trois règles ont été testées sur deux cas type (Bourgogne et Bretagne), issus de la fermothèque d'Arvalis (Figure 2).

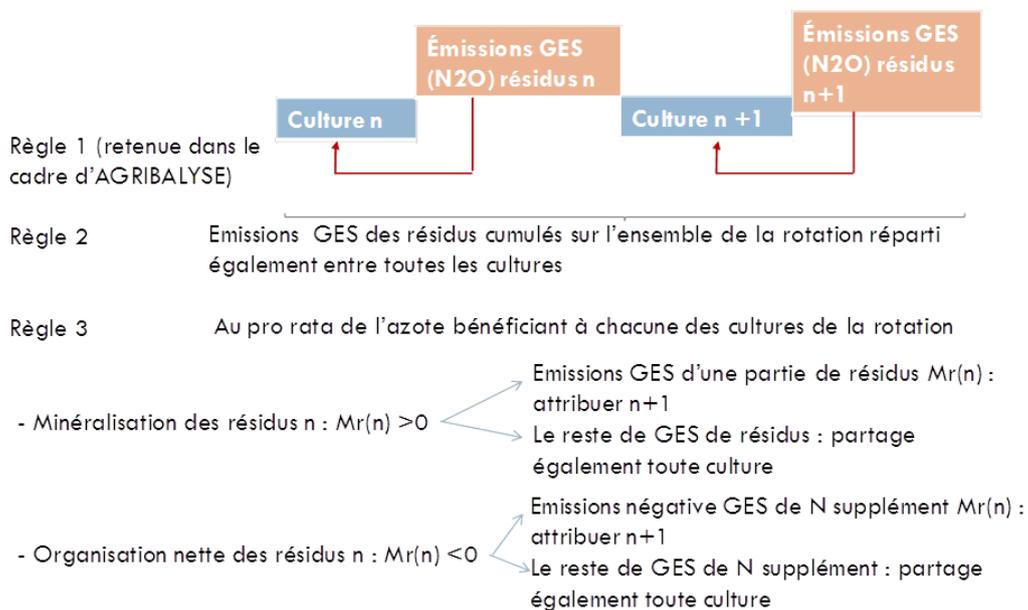


Figure 2 : Règles d'allocation des émissions de GES de l'azote des résidus de culture dans la rotation testées

Les impacts de ces règles ont été évalués à différents niveaux : impact sur les émissions de GES induites par l'azote des résidus selon la méthode GIEC tier 1, 2006 et impacts sur l'indicateur réchauffement climatique (GIEC, 2007).

5.2. Choix méthodologiques retenus pour la réalisation des ACV des intrants alimentaires du bétail (tâche 2)

Cette tâche a commencé par la formalisation d'une liste d'intrants alimentaires (MP) des animaux d'élevages à évaluer dans le cadre d'ECOALIM.

Il s'agissait d'être à même :

- d'avoir des formulations complètes,
- de représenter les formules actuelles,
- de créer des formules mobilisant des matières premières innovantes avec moins d'impacts environnementaux,
- de disposer pour les principales matières premières des formules de différents ITK.

La liste des intrants traités par ECOALIM (Annexe 2) a été validée en CP après consultation du comité des utilisateurs. Les réalisations des ACV des intrants alimentaires d'ECOALIM ont été réparties entre différents organismes : l'INRA, ARVALIS, et TERRES INOVIA (annexe 2).

5.2.1. Granulométrie des données ACV des MP ECOALIM

La granulométrie des données a été fortement discutée dans le projet en lien avec l'objectif de produire des données de MP avec différents ITK.

Deux visions des partenaires se sont opposées :

- Une vision privilégiant la production de matières premières régionales : blé breton, blé de Midi-Pyrénées.
- Une vision préférant la production de MP nationale avec différents itinéraires de production : fertilisation organique, introduction de légumineuse dans la rotation...

Le Tableau 3 résume les arguments exposés lors du comité de pilotage du projet pour chacune des options. Il n'est en cela pas exhaustif.

Le choix final s'est porté vers une segmentation par itinéraire de production et non par région. En effet, le projet vise à produire des outils prospectifs qui aident à l'amélioration du bilan environnemental des élevages en travaillant sur l'alimentation. Il est donc primordial que l'outil permette d'accéder à des leviers d'action à l'échelle des élevages mais également lors de la production des matières premières alimentaires végétales au champ. C'est pour répondre à cet objectif que les instituts végétaux proposent des données plus fines que des données nationales à l'échelle d'ITK et non de régions. En effet, la variabilité intra région, du fait de la variabilité des ITK, est supérieure à la variabilité inter régionale. Un grain à l'échelle des régions ne permettrait donc pas d'identifier les leviers d'actions.

Tableau 3 : Argumentaire du projet sur deux options de type de données de MP à produire par le projet ECOALIM sur la base des échanges en Comité de Pilotage

	Données de MP pour différentes régions (en moyennant les différents ITK suivant leur représentativité)	Données de MP pour différents ITK (en moyennant les différentes régions de production)
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> - L'ITK d'une MP (exemple du rendement) est lié au territoire de production de la matière première (contexte pédoclimatique) - De nombreux flux environnementaux des ITK des MP sont dépendants du contexte pédoclimatique et doivent être calculés en localisant les MP (cas du lessivage) - Des impacts aussi, notamment les impacts locaux (consommations d'eau), nécessitent d'avoir une précision sur la localisation des MP - Les distances de transport requièrent pour être prises en compte une localisation des matières premières. Certains utilisateurs auraient souhaité disposer d'inventaires par région afin de prendre en compte les impacts liés aux spécificités des systèmes de production les approvisionnant et aux distances de transport. 	<ul style="list-style-type: none"> - La différenciation des MP suivant leur ITK permet de mettre en évidence les voies de progrès et de les rendre visibles pour les utilisateurs. - Cela rend l'outil plus générique et plus pérenne - Ce format permet de ne pas opposer des régions entre elles sur des caractéristiques qui ne peuvent pas être changées et améliorées (climat) - L'utilisation des données ECOALIM ne doit pas à terme inciter à ne produire les MP que dans certaines régions (ce qui serait le résultat d'une distinction des MP par région) mais à développer des améliorations de pratiques dans l'ensemble des régions productrices des MP (la distinction par ITK semble à ce titre favorable).
Inconvénients / limites	<ul style="list-style-type: none"> - La variabilité entre différents ITK d'un même bassin de production est supérieure à la variabilité entre deux bassins de production - Les rendements d'une région ne sont ni fixes dans le temps, ni homogènes. Produire des données régionales permettrait de prendre en compte une partie de cette diversité. - La production de MP moyenne pour un bassin de production revient à considérer la représentativité de différents ITK au sein de ce bassin de production. Cette représentativité n'est pas figée dans le temps et peut évoluer. La configuration par bassin de production arrête une situation à un instant t - L'échelle MP par région de production masque les voies de progrès possibles d'un ITK par rapport à un autre 	<ul style="list-style-type: none"> - Le calcul des ICV et l'expression de résultats de quelques impacts requièrent de localiser la production des MP. Si cette localisation n'est pas comprise dans la donnée MP, elle devra être précisée par l'utilisateur ce qui alourdira l'usage. - Les réalisateurs d'ICV et d'ACV devront pour leur calcul localiser leur MP. Comment cette localisation sera faite sachant qu'elle ne sera pas visible des utilisateurs ? <ul style="list-style-type: none"> • Localisation des MP avec un ITK sur leurs lieux de production actuels ? Dans ce cas, le risque est que les différents ITK des MP correspondent à des localisations différentes non connues des utilisateurs et que les différents ITK aient été définis pour répondre à un contexte pédoclimatique qui n'est pas celui de la région d'approvisionnement. • Localisation commune entre tous les MP et leur ITK ? Cette option semble difficile à conduire car elle ne peut pas s'appuyer sur des données statistiques. - Comment s'articulera la localisation internalisée dans l'ICV des MP et la localisation choisie par les utilisateurs pour spécifier les distances, la sensibilité par rapport à la ressource en eau, ... ? Est-ce que cela ne conduira pas à des incohérences ?

5.2.2. Méthode de construction des ICV des MP ECOALIM

- *Pour les cultures moyennes françaises déjà étudiées dans le projet Agribalyse* : reprise des données d'inventaires AGB v1.2 avec rectification des erreurs détectées, adaptation des données de transport pour assurer la cohérence avec les données Ecoinvent v3 intégrant des transports, actualisation des calculs de molécules émises en accord avec les modèles d'émissions choisis pour Ecoalim (modèles remis à jour ou modèles différents).
- *Pour les cultures moyennes françaises non étudiées dans Agribalyse* : recueil de données statistiques et enquêtes qualitatives revues à dire d'experts.
- *Pour les cultures françaises avec leviers d'action* : la méthode s'appuie sur l'utilisation de fermes types issues de la fermothèque Arvalis, présentant une diversité de rotations et de pratique culturales. Pour chaque ferme type, trois scénarios avec leviers d'actions ont été établis à dire d'expert (couverture du sol pendant l'interculture, introduction d'une légumineuse en culture principale, fertilisation organique plutôt que minérale). Des inventaires moyens par levier ont ensuite été établis en attribuant à chacun un facteur de pondération fonction du volume de production de la région ainsi que de la représentativité de la rotation au sein de cette région.
- *Pour les cultures étrangères* : recueil de données dans la bibliographie, et données d'enquêtes.

5.2.3. Méthodologie ACV pour l'évaluation des impacts environnementaux des intrants alimentaires des élevages

Unité fonctionnelle, période temporelle, périmètre et règle d'allocation

L'unité fonctionnelle retenue pour la réalisation des ACV des MP ECOALIM est le kilogramme de produit.

La période temporelle considérée est 2008-2012.

Le périmètre de réalisation des ACV est présenté dans la Figure 3. Il a plusieurs frontières pour prendre en compte la diversité des lieux d'approvisionnement des fabricants d'aliments :

- Sortie champ pour les cultures produites et utilisées par les fabricants d'aliments à la ferme.
- Sortie unité de stockage, lieu d'approvisionnement notamment des céréales utilisées par les fabricants d'aliments
- Sortie usine de transformation pour les matières premières subissant une transformation (cas des tourteaux)
- Arrivée au port français pour les matières premières importées. Les MP y sont stockées dans des silos sur le port en attendant leur revente.

Ces différents lieux d'approvisionnement sont indépendants les uns des autres et les MP qui y seront achetées convergent ensuite vers les unités de stockage du fabricant d'aliments.

L'allocation utilisée entre produit et coproduit est économique, par calcul d'une moyenne olympique sur la période 2008-2012.

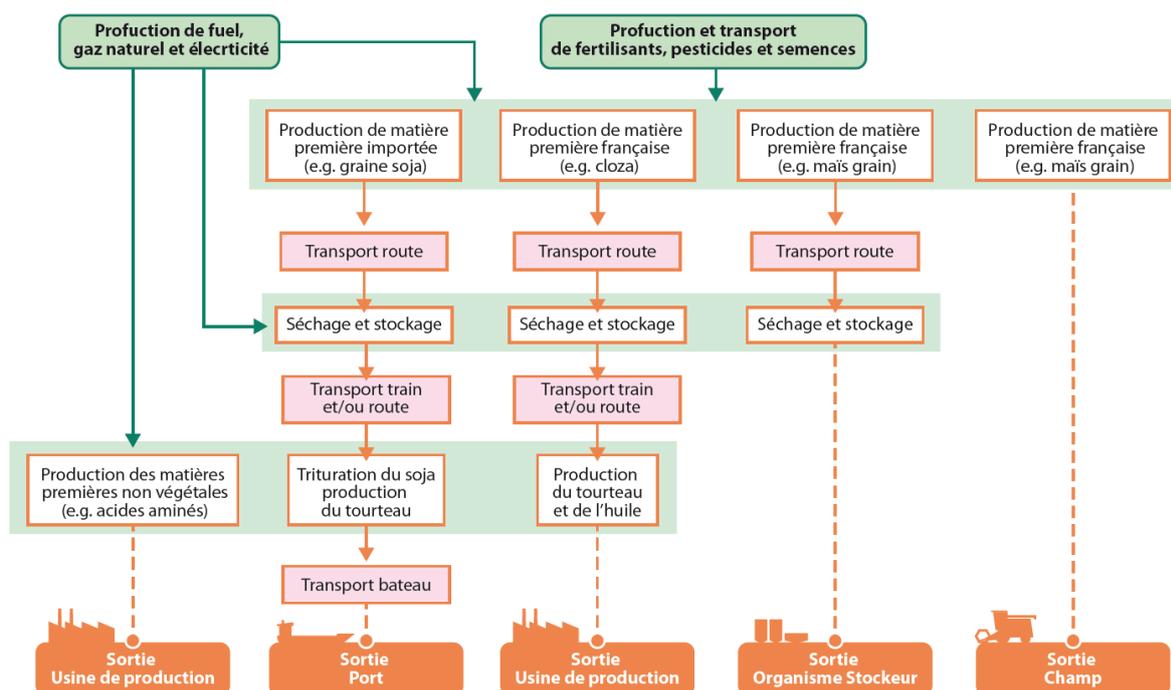


Figure 3 : Périmètre des ACV des intrants alimentaires ECOALIM

Indicateurs et méthodes de caractérisation choisis

Les partenaires ECOALIM ont choisi deux modes de présentations des résultats ACV (Tableau 4).

- Un premier mode basé sur les indicateurs et méthodes classiquement utilisés dans les publications scientifiques internationales, y compris celles de l'INRA UMR SAS partenaire du projet. Ce format permettra la comparaison des résultats obtenus avec ceux disponibles.
- Un deuxième reprenant les recommandations ILCD. Ce choix permet d'être conforme aux recommandations européennes bien que peu usitées en ACV agricole, favorisant ainsi les échanges et la présentation des résultats au niveau européen.

Tableau 4 : Indicateurs et méthodes de caractérisation choisis

Indicateur		Principaux flux concernés / Indicateur	Unité	Méthode de caractérisation
Changement climatique	Avec changement affectation des sols	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	kg CO ₂ eq	IPCC (PRG 100a)
	Sans changement affectation des sols	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, sans CO ₂ lié à la transformation des terres	kg CO ₂ eq	IPCC (PRG 100a)
Demande en énergie	Energies fossiles, non renouvelables	Energie fossile et non renouvelable	MJ	Cumulative Energy Demand (CED) 1.8 non renewable fossil + nuclear
	Energie totale	Energie totale consommée	MJ	Cumulative Energy Demand (CED total 1.8)
Occupation des sols		Utilisation des terres	m ² .a	Agrégation non pondérée
Consommation de phosphore		Phosphore	kg P	Facteurs de caractérisation des flux de phosphore : 1kg de P/kg, somme des quantités de phosphore nécessaire
Acidification	Acidification ILCD	NH ₃ , NO, NO ₂ , NO _x , SO ₂ , SO ₃	molc H+ eq	Accumulated Exceedance (Seppälä et al. 2006, Posch et al, 2008)
	Acidification CML	NH ₃ , NO, NO ₂ , NO _x , SO ₂ , SO ₃ , H ₂ SO ₄	kg SO ₂ eq	RAINS-LCA (Huijbregts et al., 2001)
Eutrophisation	Eut. terrestre ILCD	Dépôts en azote équivalents dans la biomasse	molc N eq	Accumulated Exceedance (Seppälä et al. 2006, Posch et al, 2008)
	Eut. eau douce ILCD	Dépôts en phosphore équivalents dans l'eau douce	kg P eq	Modèle EUTREND (Struijs et al. 2009b) tel que implémenté dans la méthode ReCiPe
	Eut. marine ILCD	Dépôts en azote équivalents dans l'eau marine	kg N eq	
	Eutrophisation CML	Dépôts en azote/phosphore équivalents dans la biomasse	kg PO ₄ eq	Basé sur la stœchiométrie (Guinée et al, 2001)

Modèles d'émissions

L'inventaire de l'analyse de cycle de vie doit d'une part, lister de manière exhaustive les ressources naturelles et matérielles nécessaires à une culture sur un hectare, et d'autre part contenir les émissions vers l'eau, le sol et l'air associées aux pratiques culturales, telles que listées dans la Figure 4.

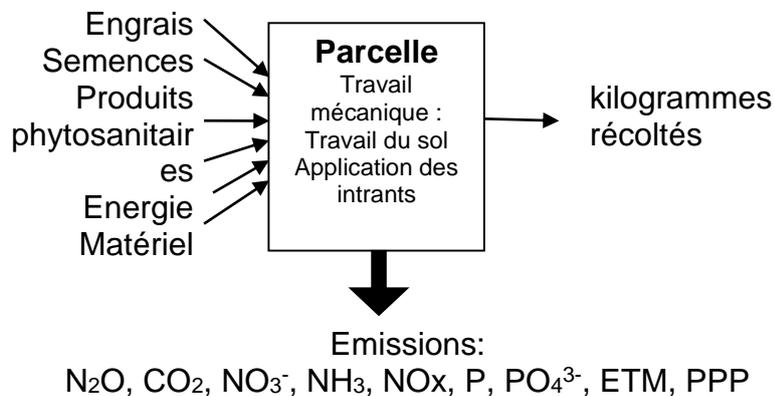


Figure 4 : Calcul des ICV des cultures

Le Tableau 5 présente les modèles d'émissions utilisés au champ pour le calcul des ICV. Ils sont similaires à ceux utilisés dans Agribalise v1.3.

Tableau 5 : Modèles d'émissions utilisés au champ pour le calcul des ICV

Quantité à calculer	Méthode utilisée
Occupation et transformation des sols	Méthode Ecoinvent V2 (Frischknecht et al, 2007) associée aux matrices Terruti (2006 et 2010)
CO₂ et énergie stockée par la biomasse	Méthode Ecoinvent V2 (Nemecek et Kägi, 2007) + références issues de Vertregt et Penning de Vries, 1987
Emissions de CO₂	Grandes cultures selon méthode GIEC 2006 niveau 1
NH₃ et NO_x	Méthode EMEP/CORINAIR 2013 niveau 2 pour émissions NH ₃ de la fertilisation minérale Méthode EMEP/EEA 2009 niveau 2 pour émissions NH ₃ de la fertilisation organique Méthode EMEP/EEA 2009 niveau 1 pour émissions NO _x de la fertilisation minérale et organique
N₂O	Grandes cultures selon méthode GIEC 2006 niveau 1
NO₃⁻	Méthode développée pour AGRIBALYSE à partir de la grille de risques lessivage NO ₃ ⁻ COMIFER
P, PO₄³⁻	Modèle Phosphore selon méthode SALCA-P, et méthode RUSLE pour le facteur d'érosion
ETM	Méthode ETM développée pour AGRIBALYSE
Produits phytosanitaires	Méthode Ecoinvent v2 (Nemecek et Kägi, 2007) : 100% des émissions vers le sol

5.3. Méthodologie utilisée pour l'optimisation environnementale de la formulation (tâche 3)

L'optimisation environnementale de la formulation vise à prendre en compte des critères environnementaux dans la construction des aliments composés, en plus des critères habituels (Figure 5).

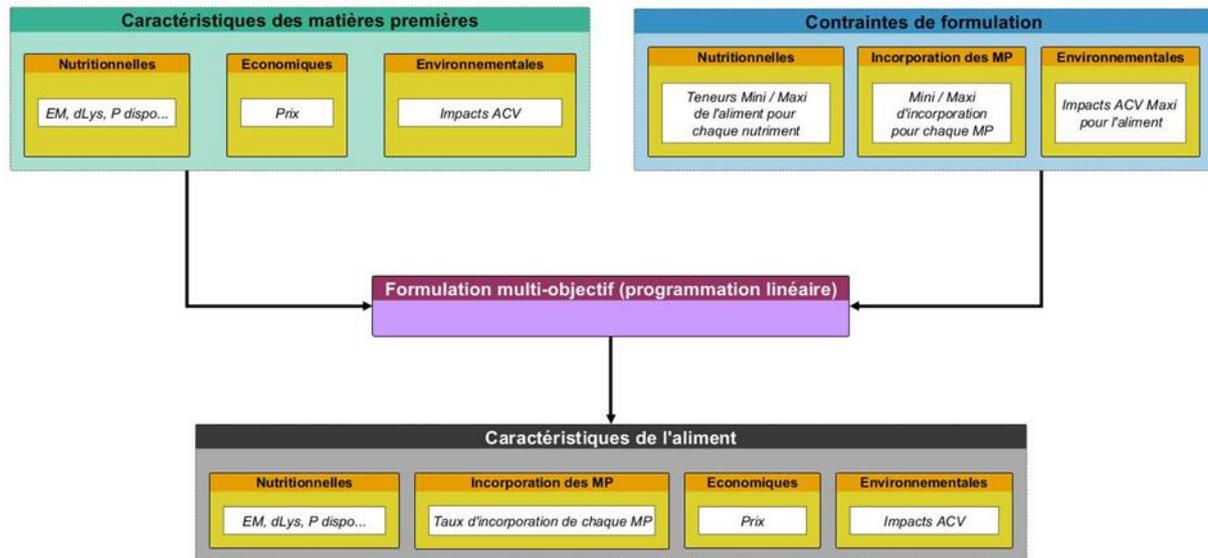


Figure 5 : Critères d'optimisation de la formulation des aliments composés d'élevage

Pour ce faire, 7 impacts environnementaux évalués pour les MP ECOALIM ont été considérés (consommation de phosphore, consommation d'énergie non renouvelable, changement climatique ILCD, acidification ILCD, eutrophication CML, changement climatique sans changement d'utilisation des terres ILCD). Les indicateurs retenus sont ceux jugés prioritaires par les partenaires et obtenus selon une méthode jugée suffisamment robuste. L'indicateur eutrophication CML, plutôt de ILCD, a été retenu car il permet d'intégrer les impacts liés aux pertes de nitrate et de phosphore. Les autres impacts ont été calculés mais non inclus dans les critères et contraintes de formulation.

Le travail s'est fait en plusieurs étapes :

- Dans un premier temps, les impacts environnementaux ont été considérés séparément. Il s'agissait de quantifier les réductions d'impacts maximales pouvant être obtenues, d'identifier les relations éventuelles entre les différents impacts et de constater l'effet sur le prix des aliments.
- Dans un second temps, une fonction multiobjectif a été construite de façon à formuler des aliments issus d'un compromis entre prix et plusieurs impacts environnementaux.

En terme d'outils, les optimisations environnementales ont été réalisées par programmation linéaire à l'aide du logiciel Porfal (en porc) ou de l'outil Solveur d'EXCEL (en volaille et bovin).

5.3.1. Construction des aliments de référence

Des aliments de références ont été définis pour représenter les pratiques actuelles de formulation. Ces aliments ont été raisonnés avec l'appui du comité des utilisateurs avec une optimisation (minimisation) sur le prix.

Il s'agit d'optimiser, par résolution d'un problème linéaire, la composition d'un aliment de sorte qu'il réponde aux besoins des animaux pour le plus faible coût possible.

La fonction objectif est une fonction mathématique composée de variables de décision qui caractérisent le système étudié. L'objectif est alors de minimiser ou de maximiser la valeur prise par la fonction objectif éventuellement soumise à un jeu de contraintes. Dans le cas de la formulation d'aliment à moindre coût, la fonction objectif à minimiser est égale au prix de l'aliment. Les contraintes sont d'ordre nutritionnel ou technologique, voire liées à la disponibilité des matières premières ou l'existence d'un cahier des charges.

Les écoaliments produits ont été comparés à ces aliments témoins pour mesurer les incidences sur les impacts environnementaux et les prix des aliments.

5.3.2. Prise en compte du contexte économique et des scénarios d'approvisionnement en matières premières

Différents contextes économiques (jouant sur les prix des matières premières) et scénarios d'approvisionnement en matières premières des fabricants d'aliments ont été choisis :

- 4 contextes économiques contrastés du point de vue des ratios de prix en matières premières (blé/maïs ; soja/blé ; colza/soja ; tournesol/soja notamment) : septembre 2011, juin 2012, août 2013 et février 2014.
- 5 scénarios concernant les distances d'approvisionnement : Grand Ouest, Sud, Local, Eloigné route, Eloigné train.
- 2 scénarios concernant la disponibilité des matières premières.

Effet du contexte économique

Avec la forte variabilité des prix des matières premières, la formule d'un aliment dépend actuellement largement du contexte économique. Aussi, pour vérifier la robustesse des conclusions de cette étude, les calculs ont été menés pour 4 contextes économiques choisis pour refléter la diversité des situations (Tableau 6) pour le scénario d'approvisionnement Grand Ouest.

Tableau 6 : Description des contextes économiques retenus pour l'étude ainsi que le contexte moyen sur la période considérée 2011-2014

		Septembre 2011	Juin 2012	Août 2013	Février 2014	Moyenne 2011-2014
Prix (€/t)	Blé	187	203	170	177	199
	Maïs	190	199	181	162	199
	tourteau de soja	318	431	454	486	404
Ratios	maïs / blé	1,18	1,00	1,14	0,92	1,01
	tourteau de soja / blé	1,55	1,88	2,39	2,39	1,87
	tourteau de colza / tourteau de soja	0,68	0,69	0,58	0,62	0,66
	tourteau de tournesol / tourteau de soja	0,51	0,51	0,54	0,41	0,50

Effet du scénario d'approvisionnement

Comme vu précédemment les MP ECOALIM sont toutes nationales (pas de distinction régionale) et rendues aux points d'approvisionnement des fabricants d'aliments. Il est donc

nécessaire d'ajouter le déplacement entre ces points d'approvisionnement et les usines de fabrication d'aliment du bétail (FAB).

Les hypothèses considérées tiennent compte de la proximité ou de l'éloignement de 3 groupes de matières premières : céréales, tourteaux et coproduits. Différentes combinaisons de distances ont été définies dans chacun des scénarios (Tableau 7).

Les aliments ont été formulés à moindre coût, avec les prix du contexte économique de juin 2012 pour les 5 scénarios d'approvisionnement. Les taux d'incorporation des différentes matières premières, le prix et les impacts environnementaux ont été observés. La part des impacts liés au transport (seulement sur les distances parcourues en France) a également été étudiée.

Tableau 7 : Description des scénarios d'approvisionnement

	Scénario local	Scénario Grand Ouest	Scénario Sud	Scénario éloigné route	Scénario éloigné train
Céréales	100 km route	300 km route	500 km route	500 km route	500 km train
Coproduits de céréales	100 km route	300 km route	500 km route	500 km route	500 km train
Graines protéagineuses et oléagineuses	100 km route	300 km route	500 km route	500 km route	500 km train
Tourteaux d'oléagineux	100 km route	300 km route	500 km route	500 km route	500 km train
Corps gras	100 km route	300 km route	500 km route	500 km route	500 km train
Minéraux, additifs	100 km route	300 km route	500 km route	500 km route	500 km train

Légende

100 km route 300 km route 500 km route 500 km train

Effet de la disponibilité en matières premières

Deux contextes de disponibilité en matières premières ont été définis.

- Un premier représentatif du contexte actuel avec une disponibilité limitée en certaines matières premières. Cette limite s'est traduite dans l'exercice de formulation par une non prise en compte de la matière première (cas de la filière avicole) ou par un plafonnement de son taux d'incorporation (cas de la filière porcine).
- Un deuxième contexte, plus prospectif, a été pris en compte avec une disponibilité « élargie » en MP. Pour la filière avicole, des MP émergentes ont été ajoutées à la liste des MP utilisées pour la formulation. En filière porcine, le plafonnement du taux d'incorporation a été relevé.

5.3.3. Réduction des impacts environnementaux un à un

Pour chacun des 7 critères environnementaux retenus pour la formulation, la valeur d'impact minimal (reflétant le potentiel de réduction) a été recherchée. L'exercice a été conduit pour le contexte économique de juin 2012 et le scénario d'approvisionnement Grand Ouest.

L'évolution de la composition de l'aliment en fonction de la minimisation de chacun des impacts a été analysée. De même, les effets sur le prix et les autres impacts environnementaux ont été observés et d'éventuelles relations entre critères ont été décrites.

Afin de cerner la dynamique, la réduction des impacts un à un a également été opérée « pas à pas » (avec des plafonnements progressifs d'augmentation du prix des aliments ou en mettant des contraintes de plus en plus forte sur les impacts ACV).

5.3.4. Optimisation multicritère

L'objectif de la prise en compte de critères environnementaux dans la formulation est d'aboutir à des aliments qui proposent le meilleur compromis entre les exigences économiques et environnementales (voire sociales). Il s'agit donc de trouver un compromis entre les différents critères d'intérêt pour formuler des aliments adaptés aux enjeux. C'est pour répondre à ce besoin qu'une optimisation multicritère de la formulation a été réfléchiée dans ce projet.

Plusieurs travaux se sont intéressés à la formulation pour développer des méthodes de formulation d'aliments avec un impact environnemental réduit (Tableau 8). La plupart se limite à considérer 1 ou 2 impacts environnementaux en plus du prix et ne proposent donc pas de solution efficace face au problème de transfert de pollution. De plus, les méthodes proposées (minimisation du prix sous contraintes environnementales ou inversement) ne permettent en général pas d'optimiser le compromis entre prix et environnement.

Tableau 8 : Méthodes existantes de formulation prenant en compte des critères environnementaux GES : émissions de gaz à effet de serre ; EU : eutrophisation potentielle ; N : azote ; P : phosphore ; EN : consommation d'énergie non renouvelable ; AC : acidification potentielle

Méthode	Commentaires	Source
Minimiser coût sous contraintes environnementales (GES et EU)	Pas d'optimisation du compromis	Nguyen <i>et al.</i> , 2012
Minimiser une fonction composite coût + rejets N et P	Nécessite de définir un coût associé aux rejets	Oishi <i>et al.</i> , 2011
Minimisation de la déviation par rapport à un objectif de compromis prix, impacts environnementaux	Nécessite de se fixer un objectif Permet d'explorer plusieurs solutions	Moraes <i>et al.</i> , 2015
Minimise une fonction composite coût + teneur P total et/ou teneur N	Permet d'explorer plusieurs pondérations entre prix, P et/ou N	Pomar <i>et al.</i> , 2007 Dubeau <i>et al.</i> , 2011
Minimise une fonction composite coût + rejets P et/ou N	Permet d'explorer plusieurs pondérations entre prix, P et/ou N	Dubeau <i>et al.</i>
Optimisation successive des critères individuellement sous contraintes des critères restants	Méthode itérative pas à pas Nécessite de fixer des objectifs sur les critères	Castrodeza <i>et al.</i> , 2005 Lara, 1993
Minimisation d'une fonction composite GES + EN + EU + AC	Optimisation à l'échelle de l'atelier d'élevage La fonction objectif n'inclue pas le prix	Mackenzie <i>et al.</i> , 2016

L'optimisation multiobjectif fait intervenir une combinaison linéaire des critères à optimiser. Les coefficients traduisent l'importance relative accordée par le formulateur aux différents critères. La principale difficulté pour l'élaboration d'une fonction multiobjectif est d'agrèger des critères qui n'ont pas la même unité ni le même ordre de grandeur. Des ratios par rapport à des valeurs de référence sont donc construits, permettant 1) de sommer des termes sans unité et de même grandeur et 2) de minimiser le ratio et non la valeur absolue des critères ce qui revient à maximiser leur écart à la valeur de référence. La fonction-objectif s'écrit alors :

$$\lambda_1 \times \frac{f_1}{f_{1ref}} + \lambda_2 \times \frac{f_2}{f_{2ref}} + \lambda_3 \times \frac{f_3}{f_{3ref}} + \dots + \lambda_p \times \frac{f_p}{f_{pref}}$$

Avec $\sum_{i=1}^p \lambda_i = 1$

Où f_i est la valeur de l'indicateur i pour l'aliment formulé, f_{iref} est la valeur de référence pour l'indicateur i et λ_i est le coefficient pondérateur de $\frac{f_i}{f_{iref}}$.

La valeur de référence d'un indicateur pour un contexte économique donné est la formulation à moindre coût.

Ont été retenus comme critères dans la fonction multiobjectif, le prix et les impacts environnementaux globaux pour lesquels la contribution de l'aliment est importante (> 50%) :

- Prix
- GES
- Utilisation des terres
- Consommation de phosphore
- Energie non renouvelable

De plus, des contraintes maximales ont été fixées à +5% pour limiter la dégradation de tous les impacts, dont ceux qui ne sont pas présents dans la fonction multi-objectif (acidification, eutrophisation).

La fonction multiobjectif s'écrit :

$$(1 - \alpha) \times \frac{Prix}{Prix_{ref}} + \alpha \times \left(\frac{2}{5} \times \frac{GES}{GES_{ref}} + \frac{1}{5} \times \frac{Util.terres}{Util.terres_{ref}} + \frac{1}{5} \times \frac{Phosphore}{Phosphore_{ref}} + \frac{1}{5} \times \frac{Energie}{Energie_{ref}} \right)$$

Avec $\alpha \in [0; 1]$

Remarque : au sein des impacts environnementaux, un poids deux fois plus important a été mis sur le changement climatique : décision du CP pour faire échos aux priorités actuelles du marché. Ce choix reste un choix politique.

La fonction multiobjectif a été appliquée pour les différentes filières animales du projet, pour les 4 contextes économiques, le scénario d'approvisionnement du Grand Ouest, et les deux scénarios de disponibilité en matières premières, limitée et non limitée.

En prenant différentes valeurs entre 0 et 1 pour alpha, il est possible d'attribuer plus ou moins d'importance aux critères économiques et environnementaux et ainsi d'explorer un certain nombre de compromis. Le meilleur compromis a été défini ici comme celui obtenu pour alpha = alpha optimal au-delà duquel l'augmentation marginale du prix est supérieure à la réduction marginale de la composante environnementale.

5.3.5. Stratégies d'alimentation

Les écoaliments produits ont été raisonnés dans le cadre de différentes stratégies d'alimentation pour différents animaux.

Le Tableau 9 résume le cadre de travail pour les trois filières animales.

Tableau 9 : Stratégies d'alimentation pour lesquelles des optimisations environnementales d'aliments ont été réalisées dans le cadre d'ECOALIM

	Filière porc	Filière avicole	Filière bovine	
Type de production animale	Porc	Poulet de chair	Production de lait	Production de viande
Stades physiologiques et aliments concernés par l'optimisation	Stade de l'engraissement avec les aliments croissance et finition qui	Aliments démarrage, croissance et finition qui représentent	Aliments concentrés composés de la rations (VL18 ¹ , VL40 ²) qui	Aliments concentrés composés de la rations (JB27 ³) qui représentent

environnementale	représente respectivement 40% et 60% de l'alimentation en engraissement	respectivement 6%, 20% et 74% de la consommation sur la période d'élevage	représentent une faible part de l'alimentation de la vache	uniquement une part de l'alimentation du bovin
Stratégie d'alimentation dans lesquelles les optimisations ont été réalisées	Alimentation biphasé	Classique	Concentrés (VL18 + tourteaux de soja + tourteaux de colza + céréales) + fourrages + pâturage	Concentrés (JB27 + coproduits + céréales) + fourrages
	Alimentation biphasé avec réduction de la teneur en énergie des aliments			
	Alimentation biphasé avec réduction de la teneur en acides aminés des aliments			
	Alimentation multiphasé avec 4 aliments	Alimentation avec énergie déconcentrée et acides aminés concentrés	Concentrés (VL18 + VL40 + pulpes betterave) + fourrages + pâturage	
	Alimentations multiphasé avec deux aliments			

¹ : VL18 = Aliment de production pour vache laitière (18% MAT)

² : VL40 = Correcteur azoté pour vache laitière (40-42% MAT)

³ : JB27 = Aliment complet pour jeunes bovins (27% MAT)

Une stratégie d'alimentation définit les performances techniques des animaux.

Les aliments actuels cherchent à respecter les besoins nutritionnels des animaux à moindre coût. Une alimentation « dégradée » pourrait réduire les performances techniques des animaux mais laisser plus de latitude dans l'optimisation environnementale de la formulation et ainsi permettre une amélioration environnementale globale. A l'inverse, des contraintes plus exigeantes en énergie, en protéines ou en acides aminées entraînent un surcoût de l'aliment mais une amélioration des performances zootechniques. Qu'en est-il de l'impact environnemental à l'échelle de l'aliment ? et à l'échelle du produit ?

De ce fait, des stratégies d'alimentation des animaux jouant sur les performances des animaux ont été étudiées en porc et en volaille :

- En porc, une réduction de la teneur en énergie des aliments et une réduction de la teneur en acides aminés ont été testées, ces deux stratégies conduisant à des réductions des performances techniques.
- En poulet de chair, une réduction de la concentration énergétique sur l'ensemble des phases (-50kcal/kg) associée à une augmentation de la teneur en acides aminés (+0,15 lysine, acides aminés équilibrés) a été testée. Elle entraîne une amélioration des performances zootechniques (-2 jours d'élevage, -0,08 IC, +0,4 rendement filet pour un poulet de 1,85kg).

5.4. Méthodologie utilisée pour l'évaluation environnementale des produits animaux ayant mobilisé les ECOALIMENTS (tâche 3)

5.4.1. Profil d'élevages dans lesquels les stratégies d'alimentation innovantes ont été testées

Elevages porcin

En porc, le choix s'est porté sur un cas type d'élevage en production conventionnel, caractérisé par des données de performances techniques moyennes représentatives de la Bretagne et avec des configurations structurelles telles que rencontrées dans la majorité des cas (Tableau 10).

Tableau 10 : Caractéristiques technico-économiques du cas type porc Bretagne

Caractéristiques générale de l'élevage	
Orientation	Naisseur-engraisseur
Nombre de truies présentes	260
Caractéristiques et performances des animaux en engraissement (GTE, 2014)	
Poids entrée engraissement (kg)	Environ 31,2*
Poids à l'abattage (kg)	Environ 117,7*
Gain moyen quotidien (g/j)	Environ 805*
Indice de Consommation	Environ 2,72*
Taux de pertes et saisie (%)	3,7
Caractéristiques structurelles	
Type de sol pour les reproducteurs	Caillebotis intégrale
Type de sol en post-sevrage	Caillebotis intégrale
Type de sol en engraissement	Caillebotis intégrale
Modalités gestion des effluents	Stockage sous les animaux, puis stockage en fosses extérieure non couverte
Consommations d'énergie et d'eau	
Electricité (kWh/truie présente)	749
Fuel (kWh/truie présente)	209
Gaz (kWh/truie présente)	24
Abreuvement truie gestante (hors repas soupe) (l/truie/j))	23,8
Abreuvement truie maternité (hors repas soupe) (l/truie/j)	31,0
Abreuvement des porcelets en PS (hors repas soupe) (l/porcelet/j)	3,10
Abreuvement des porcs en engraissement (hors repas soupe) (l/porc/j)	7,00
Taux de dilution pour les repas soupas (l/kg farine)	2,7
Alimentation des porc	
Type alimentation en reproducteurs	100% achat sous forme de granulés
Type d'alimentation en PS	100% achat sous forme de granulés
Type d'alimentation en engraissement	100% achat avec 66% soupe et 34% granulés

* ces caractéristiques sont données en moyenne car elles ont été recalculées pour toutes les stratégies d'alimentation en porc.

Elevages de poulet de chair

En poulet de chair, un cas type « poulet standard en Pays-de-la-Loire » a été choisi, caractérisé par des données moyennes des élevages de poulets standard de la région Pays-de-la-Loire (Tableau 11) issues d'extraction des enquêtes avicoles des Chambres d'Agriculture, des références ITAVI (ITAVI, 2008) et d'enquêtes auprès des éleveurs (Protino et al., 2015). Les implications économiques sur les coûts de production du vif et du filet ont également été estimées grâce à l'utilisation d'un calculateur de coût de production (Dusart et al., 2016).

Tableau 11 : Caractéristiques technico-économiques du cas type poulet standard en Pays-de-la-Loire

Caractéristiques et performances des animaux	
Souche	Ross PM3
Poids au démarrage (kg)	0,04
Poids à l'abattage (kg)	1,83
Durée d'élevage (j)	36
Rendement filet (%)	18,3
Indice de Consommation	1,73
Ratio Eau/Aliment	1,80
Mortalité (%)	4,19
Saisies (%)	0,92
Caractéristiques des bâtiments/parcours	
Densité au démarrage (animaux/m ²)	23,4
Surface du bâtiment (m ²)	1300
Nombre de lots par an	6,6
Type de bâtiment/ventilation	Colorado Dynamique
Type de chauffage	Radiants propane
Brumisation	oui
Type de litière	Paille broyée
Quantité de litière (kg/m ²)	4,5
Consommations d'énergie et d'eau	
Electricité (kWh/m ²)	3,80
Propane (kWh/m ²)	13,10
Eau de boisson + refroidissement (L/m ²)	140
Eau de nettoyage (L/m ²)	2,41
Quantité de fuel (kWh/m ² /an)	14

Elevage bovin lait

Deux cas types ont été retenus.

- Système laitier des Pays de la Loire (Maïs/SFP: 10-30%).

Ce système est composé de 60 vaches laitières, produisant 8500 litres par vaches et par an. Il s'agit d'un cas-type du dispositif Inosys-Réseaux d'élevage : Cas type 2b, lait spécialisé silo fermé en potentiel moyen (Réseaux d'élevage, 2009). Ce cas type fait partie des systèmes étudiés dans AGRIBALYSE®.

La conduite alimentaire des vaches laitières est précisée dans la Figure 6. Elles reçoivent 185g de concentrés par litre de lait, dont un aliment de production VL18 (aliment composé), du tourteau de soja en l'état, du tourteau de colza en l'état et des céréales.

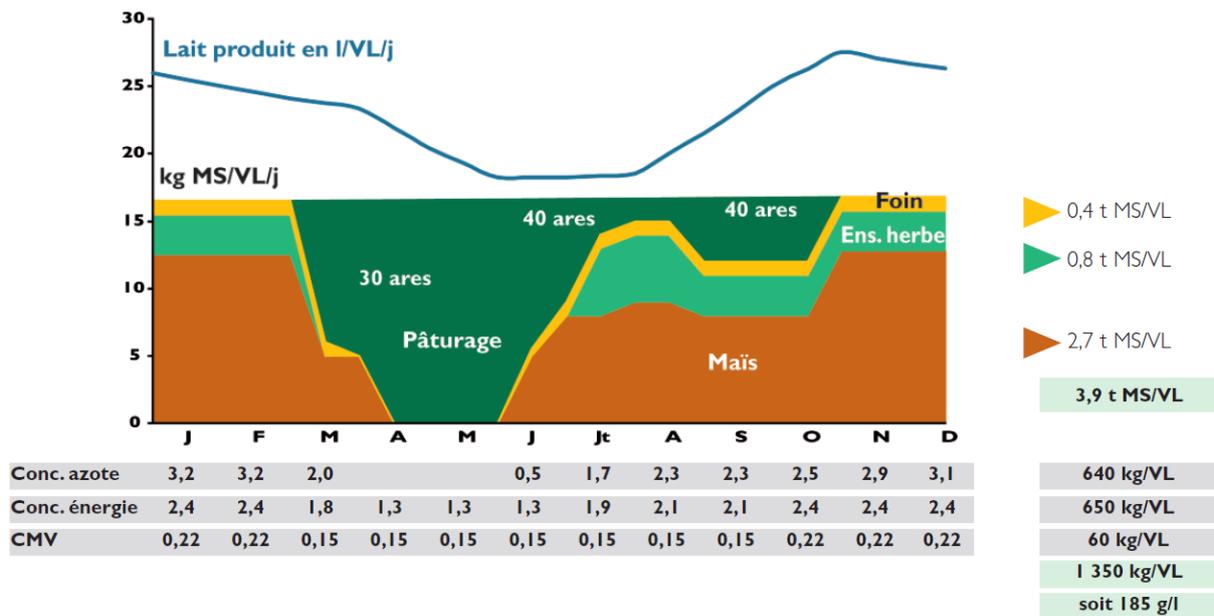


Figure 6 : Conduite alimentaire des vaches laitières du cas d'étude Pays de la Loire (source : Réseaux d'élevage, 2009)

La Figure 7 précise la composition de la ration annuelle moyenne des vaches laitières, en pourcentage de la matière sèche totale ingérée (MSI totale). Les aliments concentrés composés (VL18), qui vont être remplacés par les écoaliments, représentent ici moins de 4% de la ration.

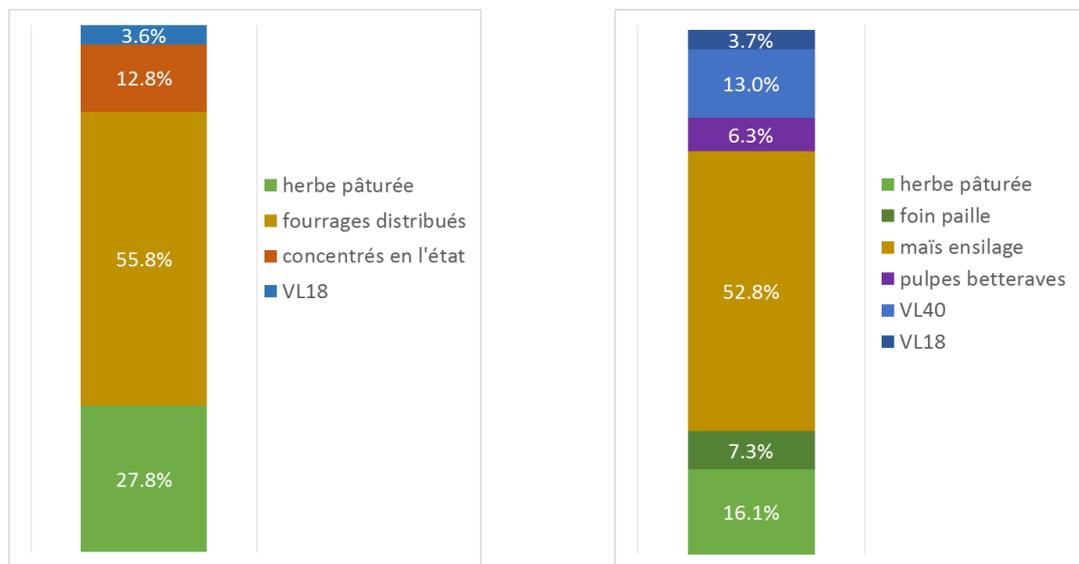


Figure 7 : Composition de la ration des vaches laitières des cas d'étude Pays de la Loire et Nord Pas de Calais, en % de la MSI totale

- Système laitier du Nord Pas de Calais, Poly-Elevage, utilisation de coproduits
Ce système est composé de 62 vaches laitières, produisant 8600 litres par vaches et par an. Il s'agit d'un cas-type du dispositif Inosys-Réseaux d'élevage : Cas-type 9, Lait polyculteur familial, système familial lait et polyculture avec betterave en zone à bon potentiel (Inosys - Réseaux d'élevage, 2015).

Les vaches laitières reçoivent 177g de concentrés par litre de lait, dont un aliment de production VL18 (aliment composé) et un correcteur azoté VL40. La Figure 7 précise la composition de la ration annuelle moyenne des vaches laitières, en pourcentage de la matière sèche totale ingérée (MSI totale). Les aliments concentrés composés (VL18 et VL 40), qui vont être remplacés par les écoaliments, représentent ici presque 17% de la ration.

Elevage bovin viande

Un système de jeunes Bovins dans le Grand Est a été retenu. Ce système vend 355 jeunes bovins de 420 kg de poids carcasse en moyenne. Il s'agit d'un cas-type du dispositif Inosys-Réseaux d'élevage : Cas type CCI + JB, Cultures et jeunes bovins sur 200 ha, en Champagne (Réseaux d'élevage, 2010).

La conduite alimentaire jeunes bovins est précisée dans le Tableau 12. Ils reçoivent 680g de concentrés, dont un aliment complet JB27 (aliment composé), et des céréales en l'état.

Tableau 12 : Bilan alimentaire des jeunes bovins à l'engraissement du cas d'étude Grand Est Loire (source : Réseaux d'élevage, 2010)

Bilan alimentaire par jeune bovin	
Pulpes surpressées	1550
Foin/paille	250
Total fourrages (kg MS)	1800
céréales	160
Complémentaires	520
Total concentré (kg brut)	680
Indice de consommation (kg MS/kg vif produit)	6.3

La Figure 8 précise la composition de la ration annuelle moyenne des jeunes bovins, en pourcentage de la matière sèche totale ingérée (MSI totale). Les aliments concentrés composés (JB27), qui vont être remplacés par les écoaliments, représentent ici 19% de la ration.

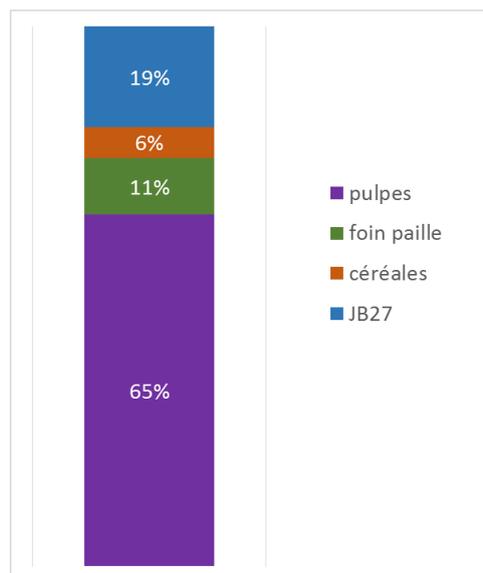


Figure 8 : Composition de la ration des jeunes bovins à l'engraissement du cas d'étude Grand Est, en % de la MSI totale

5.4.2. Méthodes d'évaluation environnementale des impacts environnementaux des produits animaux

Unité fonctionnelle et périmètre

L'unité fonctionnelle retenue pour la réalisation des ACV des produits animaux est le kilogramme de produit pour la viande (kg de porc vif, kg de poulet de chair vif, kg bovin vif), ou le litre de lait.

Les périmètres de réalisation des ACV sont présentés en Figure 9.

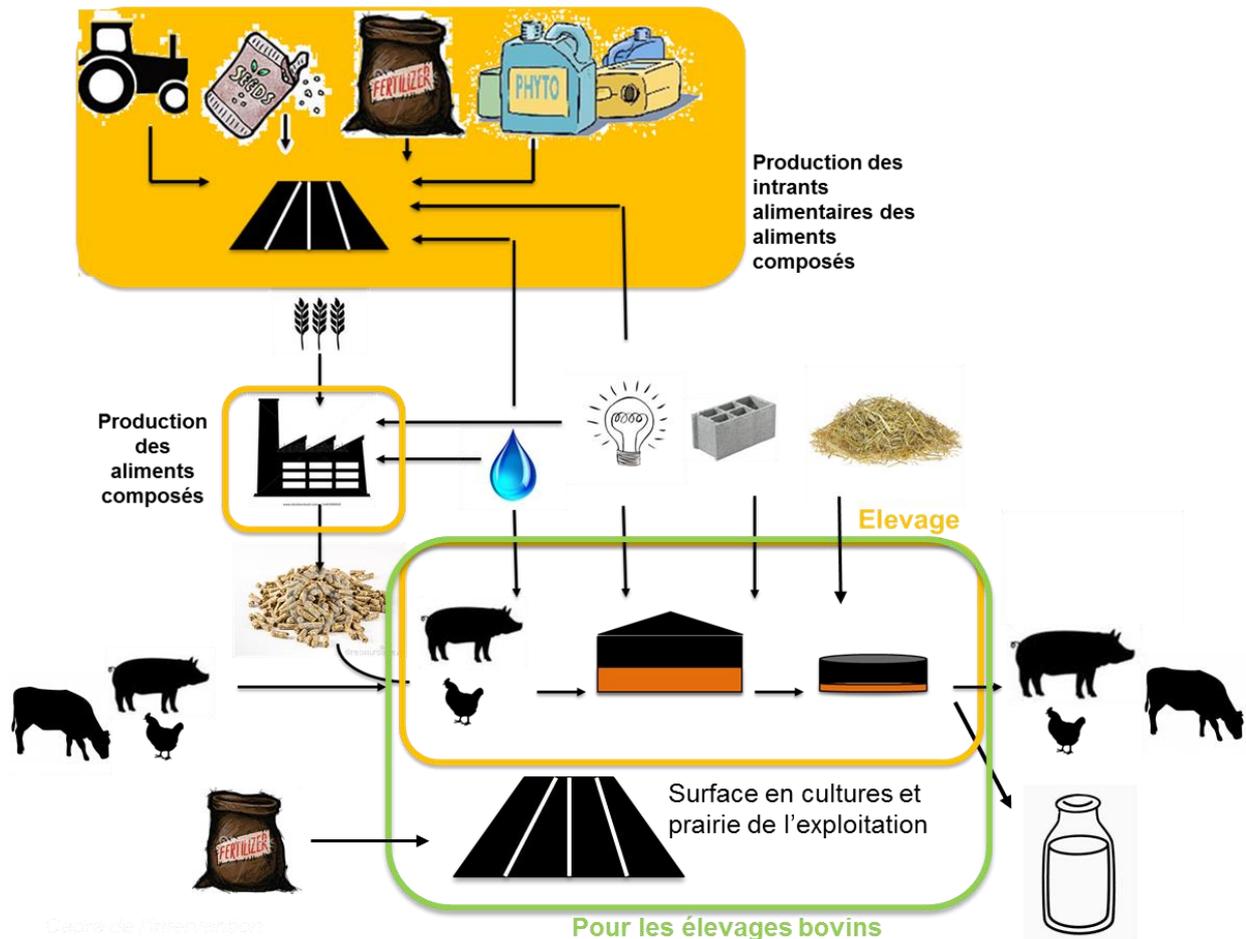


Figure 9 : Périmètre des ACV des produits animaux en porc et en volaille

Le cadre d'analyse est identique à celui de la méthode AGRIBALYSE® (Koch & Salou, 2015) pour le porc et la volaille. Il diffère en bovin car le lien est plus direct dans Ecoalim entre le troupeaux bovins et les surfaces liées à son alimentation. Ce lien est géré au niveau de la ferme « cas type » dans Ecoalim, alors que dans AGRIBALYSE, ce lien est géré à l'échelle nationale, menant à l'utilisation de « pature moyenne France ».

Indicateurs et méthodes de caractérisation choisis

Ils sont identiques à l'étape matières premières (cf. Tableau 4).

Modèles d'émissions

Le Tableau 13 renseigne sur les modèles d'émissions utilisés pour les calculs de flux environnementaux dans les élevages.

Tableau 13 : Modèles utilisés par flux et par poste pour les ACV des produits animaux

Flux	poste	Modèles en porc	Modèles en volaille	Modèles en bovins
Performances techniques des animaux		MOGADOR	Calculateur INRA/ITAVI	Références cas-types
N et P	excrétions des animaux	RMT, 2016	ITAVI, 2013	
MO	excrétions des animaux	IPCC 2006	IPCC 2006	
CH4	entérique	IPCC 2006 Tiers 1		Sauvant, 2013 (Tier3)
	déjections	IPCC 2006 Tier 2		
N2O	sol	-	-	IPCC2006 Tier 1
	déjections	IPCC 2006 Tier 2		
CO2	combustion	-	-	ADEME Diaterre
NH3	sol	-	-	EMEP 2013
	déjections	EMEP 2013		
NO	déjections	EMEP 2013		
Nitrates	sol	-	-	Excédent du bilan
Phosphore	sol	-	-	Excédent du bilan

Outils mobilisés

Le Tableau 14 résume les outils mobilisés pour réaliser les ACV des produits animaux dans les différentes filières animales

Tableau 14 : Outils mobilisés pour le calcul des ACV des produits animaux

	Filière porcine	Filière avicole	Filière bovine
Calcul des flux environnementaux	Calculateur Excel	Calculateur Excel	CAP'2R (annexe 6)
Calcul des impacts ACV	Simapro multiuser du RMT élevages et environnement (v8.0.5.13)	Calculateur Excel + Simapro multiuser du RMT élevages et environnement (v8.0.5.13)	Simapro multiuser du RMT élevages et environnement (v8.0.5.13)

5.4.3. Méthodes d'évaluation des coûts

Pour les trois filières des coûts de production des produits animaux ont été calculés pour les différentes stratégies d'alimentation.

Seuls les écarts de ces coûts sont présentés dans les résultats.

En porc, l'outil PIGSIM (<http://pigsim.com>) a été mobilisé pour calcul des écarts de marge ramenée à la truie ou au kilogramme de porc produit entre les scénarios optimisés et le scénario de référence.

En poulet de chair, un calculateur de coûts de production à l'échelle de la filière développé sur Excel permet de modéliser les coûts des différentes étapes de production du poulet jusqu'à l'abattage et la découpe (Dusart *et al.*, 2016). Ainsi, les modifications de stratégies alimentaires (et des performances zootechniques associées le cas échéant) sont prises en compte pour estimer des coûts de production du poulet vif (€/t vif) ou encore du filet (€/kg filet). Ce calculateur de coûts de production a été couplé au calculateur d'impacts environnementaux.

Aucune évaluation des coûts n'a été faite en filière bovine.

5.5. Méthodologie utilisée à l'échelle du Grand Ouest (tâche 3)

A l'échelle de la Bretagne et du Grand-ouest, le travail a été réalisé par l'association Feedsim Avenir, avec pour objectif, comme pour l'approche par filière animale, d'identifier des profils d'aliments avec de moindres impacts environnementaux, en mobilisant les données produites dans ECOALIM. La différence porte sur le fait qu'à cette échelle territoriale, les différentes filières animales sont prises en compte conjointement avec l'idée qu'elles utilisent un même gisement de matières premières.

La formulation des aliments, à moindre coût, à moindre impact environnemental ou multiobjectif, a été réalisée avec le modèle Feedsim (annexe 5). Il permet de calculer les flux optimaux des matières premières utilisées en alimentation animale, entre des zones de disponibilités et des zones de demande. Ce modèle prend en compte différentes usines de fabrication d'aliments sur le territoire, les tonnages fabriqués de chaque type d'aliments composés, ainsi que les contraintes nutritionnelles de chaque type d'aliments composés et les contraintes minimum et maximum d'incorporation de certaines matières premières ou certains groupes de matières premières. Le modèle prend en compte également le réseau de route et de voies ferrovières pour le transport des matières premières.

L'analyse effectuée par FEEDSIM prend en compte les tonnages de tous les aliments composés (hors poissons et chiens et chats) fabriqués dans les usines. Il s'agit pour l'essentiel d'aliments complets pour porcins et volailles mais aussi d'aliments complémentaires pour porcs (achetés par les éleveurs pour compléter leurs céréales autoconsommées) et d'aliments complémentaires pour bovins répartis entre aliments de type VL18 et aliments de type VL40.

Tout comme l'approche par filière, les mêmes 4 contextes économiques (2011, 2012, 2013 et 2014) ont été considérés avec les mêmes prix de matières premières. Par contre le scénario d'approvisionnement considéré est unique et est celui du Grand Ouest, et la disponibilité en matières premières considérée est l'actuelle uniquement (pas de scénario prospectif sur ce point à l'échelle territoriale).

En termes d'étape de formulation prenant en compte les critères environnementaux, des étapes similaires à celles suivies par filière ont été réalisées à savoir :

- Une formulation avec réduction des impacts environnementaux un à un,
- Une formulation multiobjectif prenant en compte plusieurs critères environnementaux et le coût, avec la même fonction que celle utilisée par filière animale.

Pour les coûts, deux types de coûts unitaires ont été distingués, le coût moyen et le coût marginal.

Le coût moyen est calculé en divisant, pour une valeur donnée de la réduction de l'indicateur considéré, l'augmentation du coût total par la réduction totale de l'indicateur. Il y a donc une valeur unitaire moyenne différente pour chaque niveau de réduction, ce coût unitaire tendant à augmenter au fur et à mesure que la réduction augmente.

Le coût marginal est obtenu en divisant l'augmentation de coût calculé entre x et $x+\delta$ de réduction et la réduction de l'indicateur entre x et $x+\delta$. Delta représente le pas de calcul des réductions (en l'occurrence 2%). Comme pour le coût moyen, le coût marginal tend à augmenter avec le taux de réduction (une même réduction est d'autant plus coûteuse à obtenir que l'on a déjà réalisé une forte réduction), les premières réductions étant les plus « faciles ». L'intérêt du coût (unitaire) marginal est que sur un plan théorique il peut être interprété comme la taxe équivalente qui, appliquée à l'indicateur considéré, conduirait à la réduction considérée

de l'indicateur. Ce résultat est démontré pour des fonctions continues et approché pour des fonctions « par palier » telles que celles obtenues comme résultats de la programmation linéaire.

5.6. Valorisation

Dès le démarrage du projet, deux cibles ont été identifiées, auprès desquelles valoriser les travaux d'ECOALIM :

- Les formulateurs (fabricants d'aliments et éleveurs). Ces derniers ont été associés au projet pendant toute sa durée via un comité des utilisateurs qui a donné un cadre d'échange et d'appropriation des résultats. Ils disposent déjà d'outils de formulation ; la priorité n'a donc pas été la création d'un nouvel outil mais la mise à disposition de données pertinentes compatibles avec leurs habitudes de travail.
- Les personnes réalisant des évaluations environnementales des élevages comme les responsables RSE ou développement durable par exemple.
- Les interlocuteurs responsables de base de données nationales ou internationales sur des références ACV de produits agricoles ou plus spécifiquement de données ACV sur les intrants de l'alimentation animale.

6. Principaux résultats obtenus

6.1. Avancées méthodologiques réalisées dans le cadre du projet concernant l'utilisation de l'ACV pour l'évaluation environnementale des intrants alimentaires

Le Tableau 15 résume, par question méthodologique traitée dans ECOALIM, les décisions associées, et la comparaison avec les choix d'AGRIBALYSE.

Tableau 15 : Synthèse des choix méthodologiques ACV dans ECOALIM (En rouge : les différences avec AGRIBALYSE)

Points méthodologiques travaillés dans ECOALIM		Conclusion ECOALIM	Comparaison à AGRIBALYSE
Modèles de calcul de flux	Nitrates	→ Modèle AGRIBALYSE	Même modèle retenu in fine mais analyse de faisabilité de la prise en compte d'un modèle plus précis : sensibilité accrue aux pratiques et conditions pédoclimatiques.
	Phosphore	→ RUSLE + SALCAP paramétré Agribalyse	Même modèle qu'AGRIBALYSE + mobilisation d'experts pour contrôler la crédibilité des résultats.
	Ammoniac	→ EMEP CORINAIR 2013	Même méthode mais version plus récente (2013 vs 2009)
	Protoxyde d'azote	→ IPCC 2006 tier 1 + IPCC tier 2 (équation NOGAS)	Modalité de calcul 1 idem AGRIBALYSE Modalité de calcul 2 : nouvelle. Cette modalité de calcul Tier 2 est en cours de validation mais la mobilisation de la version intermédiaire de l'équation donnera une idée de la sensibilité sur les résultats.
Règle d'allocation à l'échelle succession culturale	Apports Phosphore	→ Allocation en fonction des exportations P des cultures de la succession avec prise en compte d'un coefficient d'exigence en P des cultures de la rotation	La méthode est différente d'AGRIBALYSE qui ne prend en compte que les exportations en P des cultures.
	Lessivage N	→ Répartition entre les cultures de la rotation	La méthode est différente d'AGRIBALYSE qui attribue à une culture le lessivage ayant lieu sous la culture et pendant l'interculture suivante.
	Résidus de cultures	→ Pas d'allocation	Idem AGRIBALYSE
Allocation entre atelier végétal et atelier animal		→ Atelier animal : jusqu'au stockage/traitement compris → Atelier végétal : transport et épandage des effluents	Idem AGRIBALYSE

Prise en compte des impacts locaux		→Réalisation d'ACV de MP pour différents ITK en passant pas la mobilisation de cas type	Réalisation d'ACV de MP pour différents ITK (dans Agribalyse, principalement MP moyenne nationale) + synthèse sur la prise en compte des impacts locaux en ACV avec des pistes mobilisables dans quelques années.
Impact consommation d'eau		→Pas de prise en compte de cet indicateur faute de méthodologie applicable dans le cadre du projet ECOALIM mais identification des données nécessaires pour à terme pouvoir le renseigner.	Synthèse sur la faisabilité de prendre en compte cet indicateur dans le cadre du projet ECOALIM
Impact biodiversité		→Pas de prise en compte de l'impact biodiversité dans le cadre du projet ECOALIM	Synthèse sur la faisabilité de prendre en compte cet impact dans le cadre du projet ECOALIM
Indicateurs d'impacts		→La liste des indicateurs d'impact est rappelée : - Changement climatique - Acidification - Eutrophisation - Occupation de surface Pour ces indicateurs il est prévu de les calculer avec la méthode de caractérisation recommandée par ILCD et la méthode CML - Consommation d'énergie Pour cet indicateur la méthode CED est prévue. - Consommation de phosphates D'autres indicateurs complémentaires sont en cours de calage et seront utilisés à l'échelle des aliments composés : - Nombre de MP dans une formulation d'aliments composés - Indicateurs sur les coproduits mobilisés dans une formulation d'aliments composés	Dans Agribalyse, d'autres impacts ont été évalués comme l'écotoxicité et il n'y a pas eu de choix de méthode de caractérisation.
Autres choix concernant la réalisation des ICV des MP	ITK des semences	→Réajustement des ITK des semences AGRIBLAYSE	Nouvelle règle d'extrapolation conduisant à des ITK de MP différents
	Inventaire produits phytosanitaires et ETM	→Renseignement de ces données dans ITK même s'il restera de fortes incertitudes.	Non mobilisation de ces données dans les indicateurs d'impacts contrairement à AGRIBALYSE

6.1.1. Comparaison de modèles de calculs des flux environnementaux à la parcelle

L'analyse a conduit à l'identification d'avantages et limites à l'applicabilité des différents modèles dans le cadre d'ECOALIM (Tableau 16). Parmi les différents critères retenus pour le choix des modèles, la prise en compte des trois flux par un même modèle, afin d'assurer une cohérence des bilans d'azote, était considérée. Deux modèles répondent à ce critère : SYST'N et INDIGO. Cependant, SYST'N a été écarté car il était encore en cours de phase de test, le module NH₃ est en phase de révision et l'outil est dépourvu de la fonction d'analyse fréquentielle. INDIGO, en sa version actuelle, est très demandeur en temps. Son adaptation aux besoins du projet ECOALIM n'était par ailleurs pas compatible avec le calendrier du projet. Sur la base des critères de facilité d'utilisation des modèles et de validité des résultats, il a été décidé par le groupe méthodologique que le modèle AGRIBALYSE_NO₃ sera appliqué pour estimer le lessivage de nitrate, le modèle IPCC tier 1 pour le N₂O et les modèle EMEP 2013 (facteurs d'émission mis à jour pour les engrais minéraux) et EMEP/EEA 2009 (pour les engrais organique) pour le NH₃, et ce pour l'ensemble des inventaires grandes cultures du projet ECOALIM. Une première version du modèle N₂O tier 2 sera par ailleurs testée dans le cadre d'ECOALIM afin de produire de premières estimations plus adaptées au contexte français, qui puissent être utilisées pour des analyses de sensibilité.

Tableau 16 : Atouts et limites concernant les modèles d'estimation des émissions d'azote et dans le cadre d'ECOALIM (en gras, les modèles retenus pour la réalisation des inventaires ECOALIM)

Modèles Flux simulés	Atout de l'outil pour une utilisation dans le cadre d'ECOALIM	Difficultés rencontrées
SYST'N N ₂ O, NO ₃ ⁻ et NH ₃	Simulation complète du cycle de l'azote N ₂ O, NO ₃ ⁻ et NH ₃ (Emissions N ₂ O indirectes à calculer séparément) Modèle sensible au contexte pédo-climatique Saisie des données d'entrée facile (lien avec BDD, possibilités de copier/coller...)	Outil relativement complexe car très précis : Nécessité de formation ou l'aide d'expert, nécessité de simuler plusieurs scénarios pédo-climatiques pour un même cas-type, qui peut souvent se rattacher à plusieurs contextes. Très demandeur en temps pour : -Valider les données sorties (outil tjrs en test) -Exporter les résultats (4 données par an à additionner pour autant d'années simulées) -Pas d'analyse en fréquentielle
INDIGO N ₂ O, NO ₃ ⁻ et NH ₃	Simulation complète du cycle de l'azote N ₂ O, NO ₃ ⁻ et NH ₃ (Emissions N ₂ O indirectes à calculer séparément) Export automatique des données	Version disponible : - Installation très difficile - Outil relativement complexe : Nécessité de formation ou l'aide d'expert - Nécessité des mises à jour des facteurs d'émissions (pour le N ₂ O) - Données climat et sol compliquées à récupérer - très demandeur en temps pour saisir les ITK et faire les scénarios Version adaptée non disponible dans le calendrier imparti
DEAC NO ₃ ⁻	Possibilité de calculer rapidement le lessivage de NO ₃ ⁻ moyen (analyse fréquentielle)	Demandeur en temps Faible sensibilité au type de sol sur un cas-type (en cours d'analyse) Uniquement le flux NO ₃ ⁻ , besoin d'utiliser d'autres modèles pour les autres flux azotés

	Saisie des données d'entrée facile (lien avec BDD, possibilités de copier/coller...)	
AGRIBALYS E (Comifer) NO₃⁻	Modèle simple et facile d'utilisation avec résultat de lessivage de NO₃⁻ moyen directement disponibles sur excel, peu demandeur en temps. Paramétré pour la France, ordres de grandeur corrects	Uniquement le flux NO₃⁻, besoin d'utiliser d'autres modèles pour les autres flux azotés Modèle moins sensible aux données pédoclimatiques
IPCC 2006 / EMEP (AGRIBALYS E) N₂O, et NH₃	Modèle simple à programmer avec résultats directement disponibles sur excel	Modèle très général non adapté à la France et ne prenant pas en compte les conditions pédoclimatiques

6.1.2. Règles d'allocation à l'échelle de la succession culturale

Allocation des apports en phosphore

Chacune des règles d'allocation des apports en P testées, à l'échelle de la succession culturale, présentent des avantages et limites (Tableau 17).

Tableau 17: Avantages et limites des différentes d'allocation des apports de P (en gras, l'option retenue pour la réalisation des inventaires ECOALIM)

Règle d'allocation	Avantages	Limites
Aucune	Facile à mettre en œuvre	Cultures exigeantes ou recevant des apports organiques défavorisées Ne suit pas les recommandations ILCD
Sur la base des exportations	Facile à mettre en œuvre Prise en compte de caractéristique de la culture en termes d'exportations intervenant dans le raisonnement des doses apportées.	Ne prend pas en compte les exigences de la culture. Serait valable dans une situation d'équilibre, au moins sur certaines rotations mais hyp d'équilibre peu réaliste.
Sur la base des doses préconisées (cf Tailleur et al, 2013)	Intégration du raisonnement agronomique	Difficile à mettre en œuvre à large échelle Gourmand en données et temps Des résultats pour une même culture différents en fonction de sa position dans la rotation
Également entre les cultures	Facile à mettre en œuvre	Ne prend pas en compte les spécificités des cultures. Une même culture peut-être + ou – impactée en fonction de la présence d'une culture fortement exportatrice
Allocation du surplus sur la base des exportations	Prend en compte les exportations et les exigences des cultures	Difficile à mettre en œuvre à large échelle Ne permet peut-être pas de rendre compte de la responsabilité des cultures exigeantes dans des situations où la

et des exigences

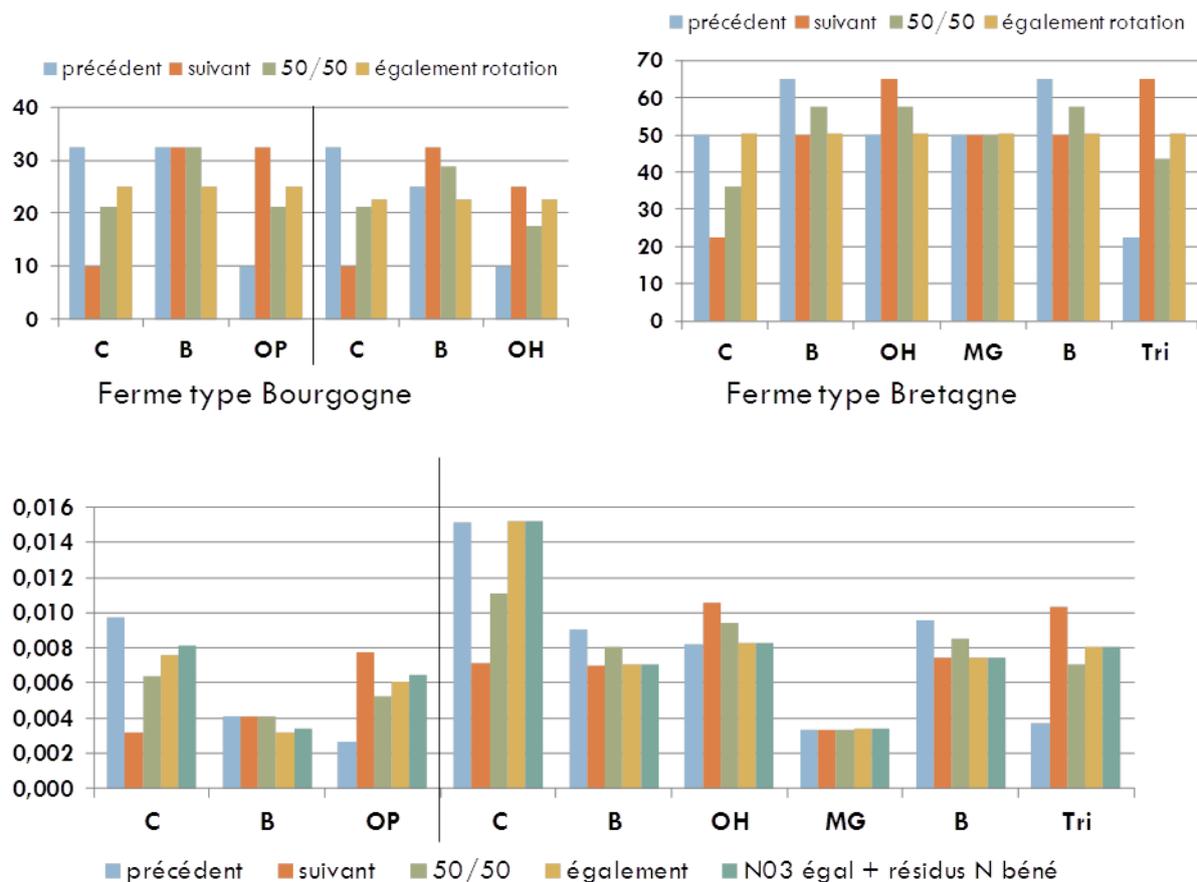
teneur en P est déjà élevée et dans lesquelles les quantités P apportées visent à maintenir cette teneur élevée du fait de la présence de ces cultures (mais raisonnement théorique, pas d'information sur la fréquence de ce type de situations).

Le choix final s'est porté sur une allocation des apports en P au prorata des exportations avec une prise en compte des excédents et du besoin des cultures. En effet, si les apports totaux apportés sur les cultures d'une succession excèdent les exportations totales, le « surplus » est alloué à chacune des cultures identifiées dans le lot en fonction de leurs exportations et de leur exigence. Dans le cas contraire, les apports sont réalloués au pro-rata des exportations.

Allocation des pertes en nitrates

La comparaison des différentes règles a montré que les quantités de nitrates attribuées à chacune des cultures varient considérablement en fonction de la règle d'allocation retenue (Légende : C : colza, B : blé tendre d'hiver, OP : **orge de printemps**, OH : **orge d'hiver**, Tri : **triticale**

Figures 10), ce qui induit également des différences de résultats sur l'indicateur eutrophisation eau marine de ReCiPe 1.8H.



Légende : C : colza, B : blé tendre d'hiver, OP : orge de printemps, OH : orge d'hiver, Tri : triticale

Figures 10 : Quantité de nitrate lessivé (kg N-NO3/ha) allouée à chaque culture et résultats d'indicateur eutrophisation marine (kg N eq / kg, ReCiPe H1.8) en fonction des règles d'allocation du lessivage au cours de l'interculture

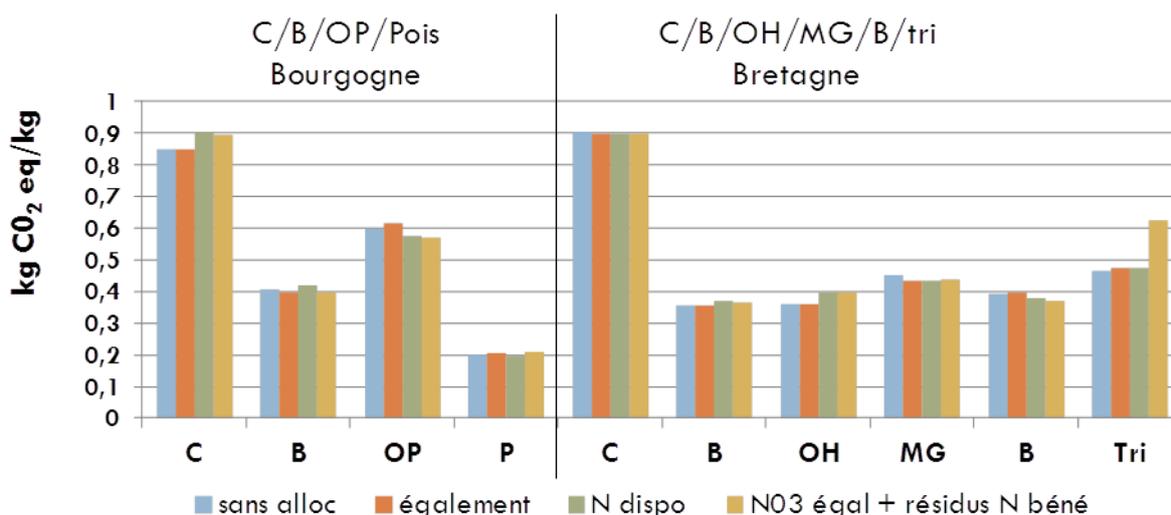
Les tests ont mis en évidence que les quantités lessivées étant fonction de la culture précédente, de la culture suivante et également de la gestion de l'interculture, il est difficile d'établir une règle d'allocation juste et simple. Des travaux ont été menés pour estimer la contribution de chacune des cultures mais les règles obtenues sont difficiles à mettre en œuvre dans le cadre d'ECOALIM. La gestion des pertes de nitrate se raisonnant au système de rotation et non à la culture, l'allocation du lessivage, de façon égale entre les cultures, s'est donc avérée la règle d'allocation la plus pertinente dans le cadre du projet.

Tableau 18 : Avantages et limites de la règle d'allocation du nitrate retenue dans le cadre d'ECOALIM

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Echelle cohérente par rapport au raisonnement de l'azote - Facile à mettre en œuvre à conditions d'avoir une rotation bien définie 	<p>Ne permet pas :</p> <ul style="list-style-type: none"> - De mettre en avant les spécificités de chacune des cultures (mais l'effet spécifique d'une culture sur les pertes de nitrate est difficile à qualifier). - De faire directement le lien entre les pratiques de fertilisation sur une culture et la quantité de nitrate lessivée qui lui est attribuée.

Allocation des résidus de récolte

Les émissions de GES liées aux résidus induisent des différences entre culture plus importantes pour la règle « Au pro-rata de N » (variation de -50 à +54%, en fonction de la culture) que pour la règle « également entre les cultures » (variation de -27 à +27%, selon la culture) en comparaison avec la règle « sans allocation ». En effet, pour la règle d'allocation « Au pro-rata de N », lorsque les résidus induisent une organisation nette de la MO, les émissions des GES liées aux résidus attribuées à la culture suivante sont réduites. En revanche, ces variations n'ont eu qu'un très faible impact sur les résultats de l'indicateur réchauffement climatique des cultures.



Légende : C = colza, B = blé, OP = orge de printemps, OH = orge d'hiver, P = pois, MG = maïs grain, Tri = Triticale

Figure 11 : Emissions de GES liées aux résidus de culture selon différentes méthodes d'allocation de N résidus

Les règles d'allocation testées ayant peu d'impact sur les résultats de l'indicateur réchauffement climatique de chacune des cultures, il n'a pas été jugé pertinent de chercher à allouer ces émissions dans le cadre d'ECOALIM.

6.1.3. Prise en compte des impacts locaux

Un synthèse bibliographique a été réalisée pour identifier les méthodes les plus pertinentes dans la prise en compte de la régionalisation et des contextes locaux /régionaux (i.e. conditions pédoclimatiques) dans les ACV. La « régionalisation » dans l'ACV est considérée comme la description systématique du lieu tout au long des étapes de calcul de l'ACV, de l'inventaire des ressources et des émissions à l'évaluation des impacts environnementaux, en se référant au principe de la chaîne de causalité de l'émission en partant de la substance jusqu'à l'impact. Deux niveaux d'approches ont été recensés pour répondre à la question de la prise en compte des impacts locaux dans l'analyse de cycle de vie.

Régionalisation au niveau de l'inventaire

L'approche de régionalisation au niveau de l'inventaire des ressources et des émissions dans différents travaux se focalise principalement sur l'étape d'inventaire des ressources et des émissions, i.e. l'identification du lieu d'étude, l'utilisation des données d'inventaire appropriées avec l'échelle définie et l'emploi de modèles d'estimation des émissions directes dans le contexte local défini (via les données pédoclimatiques locales). Les premiers travaux sur cette question ont commencé dans les années 90 avec les travaux de Potting et Hauschild (1997) et se sont accélérés dans les années 2010 (Mutel, 2012).

La synthèse présente le concept de régionalisation et sa déclinaison dans l'ACV avant d'exposer les différents niveaux de différenciations spatiales des impacts, notion qui régit tout le travail de conception des méthodes d'évaluation des impacts non globaux. Enfin, il est traité dans cette partie l'effet de la régionalisation sur les impacts environnementaux lors de la réalisation de l'inventaire des ressources et des émissions en analysant les calculs références bibliographiques traitant de cette question (Kim et al, 2008 ; Bart et al, 2012 ; Nemeck et al, 2012 ; Bessou et al, 2013).

Cette démarche simplifiée de la régionalisation est intéressante, elle peut être considérée comme le premier pas à la régionalisation et applicable pour le projet ECOALIM.

Régionalisation au niveau des méthodes d'évaluation des impacts

Au niveau de l'évaluation des impacts dans l'ACV, certaines méthodes ont développé des facteurs de caractérisation pour quantifier des impacts régionaux voir locaux.

Les méthodes UA (Unprotected ecosystem Area), HI (Hazard index) et AE (Accumulated Exceedance) (Tableau 19) ont été développées pour modéliser les facteurs de caractérisation d'impact « site-dépendant » qui sont basées sur les mêmes bases de données d'émissions et de charges critiques des écosystèmes en Europe et les mêmes modèles de transport des polluants atmosphériques.

La méthodologie EDIP 2003 (UA) a développé des facteurs de caractérisation «site-dépendant » pour plusieurs catégories d'impacts (acidification, eutrophisation terrestre et aquatique), et est considérée comme la méthode la plus extensive et la mieux documentée pour la spatialisation des impacts environnementaux.

La méthode « AE » est la méthode la plus mise à jour et est recommandée par l'ILCD, elle repose sur l'excédent par rapport à une charge critique en nutriment pour un écosystème donné.

Tableau 19 : Synthèse des méthodes de caractérisation « site-dépendant » UA, HI et AE

	UA (EDIP 2003)	HI	AE
Définition d'indicateur	Quantifie la surface de la zone de l'écosystème qui devient non protégée	Estime si une émission dépasse la charge critique (ou pas) et le niveau qu'elle remplit à l'environnement	Un excédent ou dépassement de la charge critique d'un écosystème unique
Base de données	Données anciennes	Données anciennes	Le plus mise à jour
Modèles	RAINS, CARMEN, autres	RAINS-LCA	RAINS
Catégories d'impact	AP, EP (terrestre et aquatique), formation d'ozone photochimique, toxicité humaine, écotoxicité	AP, EP terrestre	AP, EP terrestre
Facteurs « site-dépendant »	Publiés et disponibles pour les pays européens seulement Ne sont pas implémentés dans les logiciels d'ACV		

Les facteurs de caractérisation « site-dépendant » de ces trois méthodes sont publiés et disponibles, mais seulement pour les pays européens. Pourtant, aucune méthode avec les facteurs « site-dépendant » n'est implémentée dans les logiciels d'ACV à ce jour.

L'application de SIG dans la différenciation spatiale en ACV est conduite selon deux grands groupes : (1) l'intégration de SIG dans les modèles locaux pour comprendre les impacts « site spécifique » et (2) l'utilisation de SIG pour développer et tester les méthodes d'évaluation d'impacts (Mutel, 2012).

Globalement, le support SIG permet d'intégrer et de visualiser plusieurs types de données comme l'utilisation des sols, la disponibilité en eau douce, les caractéristiques des sols et des climats, les facteurs d'émission, les résultats d'ACV etc., de différents niveaux spatialisés pour développer les facteurs de caractérisation « site-dépendant » dans l'évaluation des impacts. Cependant, même si l'emploi du SIG permet d'obtenir un modèle plus réaliste de cause-effet au niveau site-spécifique son intégration dans l'ACV reste complexe (Mutel et al., 2012)

Au niveau des méthodes de caractérisation « site-dépendant » des impacts, il n'y a pas encore une solution pertinente et praticable pour ECOALIM car (1) les facteurs de caractérisation « site - dépendant » sont disponibles seulement pour les pays Européens (ce qui ne couvre qu'une partie du cycle de vie d'un produit lorsque des ressources ou des intrants sont produits en dehors de la zone européenne, (2) ils ne sont pas encore intégrés dans les logiciels d'ACV et (3) il sera difficile de comparer les résultats d'ACV agricole du projet ECOALIM avec les résultats issus de la bibliographie due à l'utilisation de méthodes de caractérisation différentes.

6.1.4. Prise en compte d'indicateurs émergents

Les consommations d'eau douces dans les ACV agricoles

Une synthèse bibliographique a été réalisé pour faire le points sur les travaux récemment développés sur cette question à plusieurs niveaux d'approche : au niveau de l'inventaire (état des lieux des bases de données existantes), et au niveau des méthodes d'évaluation de cet impact.

Cette analyse a mis en exergue les données nécessaires au calcul de l'indicateur sur la consommation d'eau. La revue des différentes méthodes d'évaluation a permis de cerner les diverses notions véhiculées. En effet, selon les auteurs le terme empreinte eau ne désigne pas la même entité. Dans un cas (Ridoutt et Pfister , 2010), le terme doit être réservé à l'évaluation de l'impact de l'eau consommée sur la disponibilité en eau, et non pas uniquement la quantité d'eau consommée ; alors que dans d'autre méthode (Hoekstra et al., 2011), le

terme prend en compte des notions de rareté de différents types d'eau. La norme ISO 14046 quant à elle a tendance à employer le terme « empreinte « eau » » pour indiquer « impact environnemental d'utilisation d'eau douce », à travers un facteur de caractérisation, et à ne pas se limiter au volume d'eau consommée.

Pour ECOALIM, la synthèse a permis d'identifier les données à collecter pour satisfaire les méthodes d'évaluation des consommations d'eau (Tableau 20).

Tableau 20 : Données concernant l'impact d'utilisation d'eau douce à récolter dans le cadre ECOALIM

	Production végétale	Production animale
Eau verte	Eau de précipitation stockée dans le sol	
Eau bleue	Eau d'irrigation évaporée et l'eau souterraine prélevée directement par les plantes avec racines profondes, eau évaporée dans les urines et les fèces (cas du pâturage), eau dans les produits récoltés	Eau d'abreuvement évaporée, eau dans les intrants, eau évaporée par les animaux, eau évaporée dans les urines et les fèces au cours de leur stockage et de leur transformation, eau dans les produits
Eau grise	Qualité d'eau entrant et sortant	Qualité d'eau entrant et sortant

Prise en compte de la biodiversité dans les inventaires de cycles de vie agricole

Une synthèse bibliographique a été réalisée pour faire un état des lieux des méthodes et indicateurs existants pour la prise en compte de la biodiversité en ACV et d'évaluer la faisabilité de l'intégration d'un indicateur « biodiversité » dans le cadre du projet ECOALIM.

La façon d'appréhender la biodiversité en ACV peut varier : certains auteurs développent des méthodes de caractérisation basées sur l'influence de l'occupation et de la transformation des terres sur la biodiversité, la transformation des terres étant encore assez peu considérée (de Baan et al., 2013 ; de Souza et al., 2013 ; Koellner et al., 2013). D'autres auteurs se basent sur des structures agro-écologiques déjà connues et mesurées (MEDDE, 2013). A ce jour, l'ensemble des méthodes ne sont pas suffisamment développées pour être applicables dans le cadre du projet ECOALIM. En effet, les méthodes développées à ce jour restent partielles (Score LCA (2014)). Elles sont généralement basées sur la richesse de l'écosystème en espèces (principalement les végétaux) sur une surface donnée. Les valeurs obtenues ne permettent pas de faire une différenciation suivant la richesse des territoires. Ainsi, les méthodes de caractérisation ne sont pas encore précises. De plus, ScoreLCA (2014) indique que les indicateurs proposés à ce jour ne sont pas complets et les méthodes actuellement développées ne permettent pas d'aboutir à un consensus scientifique. Les limites des méthodes évoquées sont notamment liées à un manque de données. Elles portent sur la nature des espèces présentes sur un territoire ou sur le temps de régénération des écosystèmes par exemple (de Baan et al., 2013), ainsi que sur les interactions entre les espèces dans un écosystème (de Souza et al., 2013).

Ainsi les méthodes permettant d'étudier la biodiversité grâce à l'ACV ne sont pas encore directement applicables. Dans le cadre du projet ECOALIM il a donc été décidé de ne pas analyser l'impact des aliments destinés aux animaux de rente sur la biodiversité.



Synthèse des résultats sur les questions méthodologiques ACV appliquées aux intrants alimentaires des élevages

Les travaux sur les questions méthodologiques ont in fine engendré :

1- Des évolutions de méthode par rapport à Agribalyse.

- Des actualisations dans la modélisation des flux environnementaux (cas des émissions d'ammoniac calculées à partir de l'EMEP 2013 vs 2009).
- Des modifications de règles d'allocation à l'échelle de la succession culturale.
 - o L'allocation des pertes en nitrates sur la succession culturale se base sur une répartition équivalente des pertes en nitrates de la rotation entre les cultures de la rotation, au lieu d'une prise en compte des pertes de récolte à récolte pour une imputation à la culture récoltée.
 - o L'allocation du phosphore sur la succession culturale se base comme Agribalyse sur les exportations des cultures de la rotation, en ajoutant un critère d'exigence de chaque culture.

Ces règles ont été choisies pour répartir au mieux (avec une prise en compte de règles agronomiques) les impacts environnementaux entre cultures, qui deviennent ensuite différents intrants pour l'alimentation animale. Ces évolutions de méthode ont été présentées au comité technique d'Agribalyse (janvier 2016) et sont actuellement à l'étude pour une possible intégration dans la méthodologie Agribalyse.

- L'ajout d'un nouvel indicateur ACV qui est la consommation de phosphates.

2- Des avancées pour une amélioration à termes des évaluations par ACV des cultures.

- Des modèles intégratifs (modélisant les différents flux azotés : pertes gazeuses NH₃ et N₂O, lessivage de NO₃⁻), comme SYSt'N et INDIGO, ont été identifiés et testés. Ils présentent l'avantage d'assurer une cohérence des bilans azotés mais s'avèrent pas prêts, dans leur configuration actuelle de développement, pour une utilisation dans ECO-ALIM.
- Une synthèse sur les prérequis nécessaires pour une prise en compte dans ECOALIM, d'indicateurs comme les consommations d'eau et la biodiversité, et une meilleure prise en compte des impacts locaux.

6.2. Impacts environnementaux des intrants alimentaires des animaux d'élevage

Au final 150 matières premières ont été évaluées dans le cadre du projet : 58 matières premières moyennes françaises (sortie champs, OS et usine de production) et 27 valeurs de déclinaisons pour différents itinéraires techniques cultureux (ITK) et différents process de transformation comme par exemple différents niveaux de décorticage. Les données comprennent également 10 matières premières étrangères transformées dans leur pays d'origine (rendues port France) ou transformées en France (sortie usine de production).

6.2.1. Valeurs moyennes françaises

Les valeurs obtenues ont été comparées à Agrifootprint, principale base de données disponible sur la période du projet pour les fabricants d'aliments. Les différences constatées peuvent venir d'une part d'écarts dans les itinéraires techniques de production des matières premières, et d'autre part de choix méthodologiques ACV différents (périmètre, modèles).

Il est à noter que les différences de hiérarchies observées entre les deux bases ont forcément des conséquences sur les formules d'aliments optimisées qui prennent en compte des critères environnementaux. Il est donc primordial de mobiliser des données issues d'une méthodologie homogène, et représentatives des pratiques de production du pays.

Le Tableau 21 présente les valeurs moyennes d'impact pour les principales céréales et les graines oléoprotéagineuses. L'impact changement climatique des céréales varie entre 0,360 et 0,517 kg CO₂eq/kg. Ces valeurs sont dans les mêmes ordres de grandeur mais un peu plus

élevées que celles disponibles dans la base de données européenne Agrifootprint. En effet, la base ECOALIM, contrairement à Agrifootprint, intègre dans ses inventaires les changements d'utilisation des terres en France (retournement de prairie, déforestation,...) ainsi que les impacts de la production des engins agricoles et des produits phytosanitaires conformément aux principes de l'ACV. ECOALIM contient par ailleurs des matières premières absentes d'Agrifootprint pour les céréales (avoine et sorgho) et les graines oléoprotéagineuses (lin, féverole et soja français). Les valeurs du pois, du colza et du tournesol d'ECOALIM présentent la même hiérarchie que les valeurs d'Agrifootprint mais sont nettement inférieures, probablement en raison d'une modélisation différente des quantités de carburant consommées pour les pratiques culturales. Dans le cas du pois s'ajoute la quantité d'électricité nécessaire au séchage et l'impact changement climatique associé qui sont plus faibles dans ECOALIM.

Tableau 21 : Valeurs d'impact pour les principales matières premières cultivées françaises, sortie organisme stockeur, exprimées pour 1 kg de matière première

Matière première sortie OS	Changement climatique kg CO ₂ eq. ILCD	CED non renouvelable MJ	Eutrophisation kg PO ₄ ³⁻ eq CML	Acidification kg molc H+eq ILCD	Occupation des terres m ² .an CML	Consommation de phosphore kg P
<i>Avoine</i>	0,517	3,072	0,0051	0,0126	2,086	0,0036
<i>Blé tendre</i>	0,429	2,850	0,0037	0,0107	1,336	0,0041
<i>Orge</i>	0,391	2,707	0,0037	0,0095	1,483	0,0041
<i>Mais grain</i>	0,464	4,472	0,0036	0,0134	1,229	0,0035
<i>Sorgho</i>	0,360	2,529	0,0036	0,0048	2,116	0,0052
<i>Triticale</i>	0,498	2,952	0,0053	0,0087	1,843	0,0026
<i>Pois</i>	0,192	2,207	0,0037	0,0025	2,321	0,0029
<i>Féverole</i>	0,189	1,696	0,0032	0,0020	1,989	0,0052
<i>Graine de colza</i>	0,938	5,485	0,0076	0,0210	3,120	0,0073
<i>Graine de lin</i>	0,933	6,269	0,0104	0,0191	5,530	0,0110
<i>Graine de soja</i>	0,300	5,084	0,0060	0,0034	3,811	0,0046
<i>Graine de Tournesol</i>	0,557	4,208	0,0088	0,0108	4,761	0,0066

La même logique de comparaison a été menée sur les autres catégories d'impact. Pour les céréales, la même hiérarchie est retrouvée entre les deux bases de données pour les impacts consommations d'énergie, occupation des terres et eutrophisation mais pas pour acidification. Les valeurs eutrophisation d'ECOALIM sont nettement plus faibles que celles d'Agrifootprint (valeurs françaises). En effet, Agrifootprint considère un apport systématique d'effluents organiques sur les céréales dont les quantités sont nettement supérieures aux pratiques moyennes françaises. De ce fait, l'impact acidification du triticale est le plus élevé dans Agrifootprint et le plus faible dans ECOALIM. Pour les graines oléoprotéagineuses, la hiérarchie entre les MP est retrouvée dans les deux bases de données pour eutrophisation et occupation des terres mais pas pour consommation d'énergie et acidification. Globalement pour consommation d'énergie, acidification et eutrophisation, les valeurs sont nettement plus faibles dans ECOALIM. Les cultures minoritaires (triticale, avoine, sorgho, féverole, lin) ne sont présentes que dans ECOALIM.

Le Tableau 22 présente les valeurs moyennes des impacts des co-produits des principales matières premières françaises et étrangères. Pour les co-produits du blé, on peut remarquer que toutes les valeurs d'impact des drêches sont environ 10 fois supérieures à celle du son de blé. En effet, les drêches sont issues des process de production de bioéthanol et le son de blé est issu du process de production de farine de blé. Ces deux process présentent une différence notable de niveau technologique qui explique les différences entre valeurs d'impact. Pour les graines oléoprotéagineuses, les impacts de l'huile de colza sont toujours nettement supérieurs à ceux du tourteau de colza, ce qui est cohérent avec l'allocation économique qui

a été appliquée. Les impacts du tourteau de tournesol ukrainien sont toujours supérieurs aux valeurs du tourteau de tournesol français, principalement à cause d'un rendement culture inférieur d'environ 30 % à celui du tournesol français (le transport jouant peu).

La base de données Agrifootprint ne contient pas d'inventaire pour les co-produits de céréales et de graines oléoprotéagineuses françaises, ni aucune valeur d'impact pour les drêches. Les comparaisons ont été conduites avec les valeurs néerlandaises présentes dans cette base. L'impact changement climatique des co-produits de céréales ECOALIM varie de 0,077 à 0,879 kg CO₂eq/kg. Ces valeurs sont globalement inférieures aux valeurs néerlandaises d'Agrifootprint et la hiérarchie entre le tourteau de colza et le tourteau de tournesol est différente. Pour les autres impacts, la hiérarchie entre les matières premières est identique pour les deux bases de données pour acidification et occupation des terres mais pas pour consommation d'énergie et eutrophisation. Dans tous les cas, ces différences de hiérarchie portent sur le tourteau de tournesol et le tourteau de colza. D'une façon générale, les valeurs d'impact sont plus faibles dans ECOALIM.

Concernant les matières premières étrangères, les valeurs fournies dans la base de données ECOALIM sont cohérentes avec les références disponibles à l'international (van Middelaar et al., 2013).

Tableau 22 : Valeurs d'impact pour certaines matières premières transformées, sortie usine de production, exprimées pour 1 kg de matière première

Matière première ^{a,b}	Changement climatique kg CO ₂ eq.	CED non renouvelable MJ	Eutrophisation kg PO ₄ ³⁻ eq	Acidification kg molc H+eq	Occupation des terres m ² .an	Consommation de phosphore kg P
<i>Son de blé FR</i>	0,0769	0,6816	0,0006	0,0019	0,2311	0,0007
<i>Drêches blé FR</i>	0,6195	9,6653	0,0058	0,0086	0,9832	0,0030
<i>Drêche maïs FR</i>	0,8791	13,0310	0,0068	0,0109	0,8777	0,0025
<i>Drêche maïs US</i>	0,6802	8,5764	0,0020	0,0090	0,7298	0,0029
<i>Huile de colza FR</i>	1,8806	13,3651	0,0140	0,0397	5,7653	0,0139
<i>T. tournesol FR ^c</i>	0,2276	2,1728	0,0031	0,0039	1,6675	0,0024
<i>T. tournesol UA</i>	0,5572	4,1580	0,0054	0,0061	3,0122	0,0029
<i>T. colza FR</i>	0,3960	2,8145	0,0030	0,0084	1,2141	0,0029
<i>T soja BR</i>	1,3930	8,6524	0,0046	0,0087	1,5526	0,0136
<i>T soja US</i>	0,5084	6,7628	0,0054	0,0097	2,7885	0,0092
<i>T. palmiste MY</i>	2,9789	3,4959	0,0037	0,0089	0,8528	0,0014

^a BR : Brésil, FR : France, MY : Malaisie, UA : Ukraine, US : Etats Unis

^b Les matières première FR sont « sortie usine de production », les matières premières étrangères sont « sortie port français »

^c Graine de tournesol non décortiquée

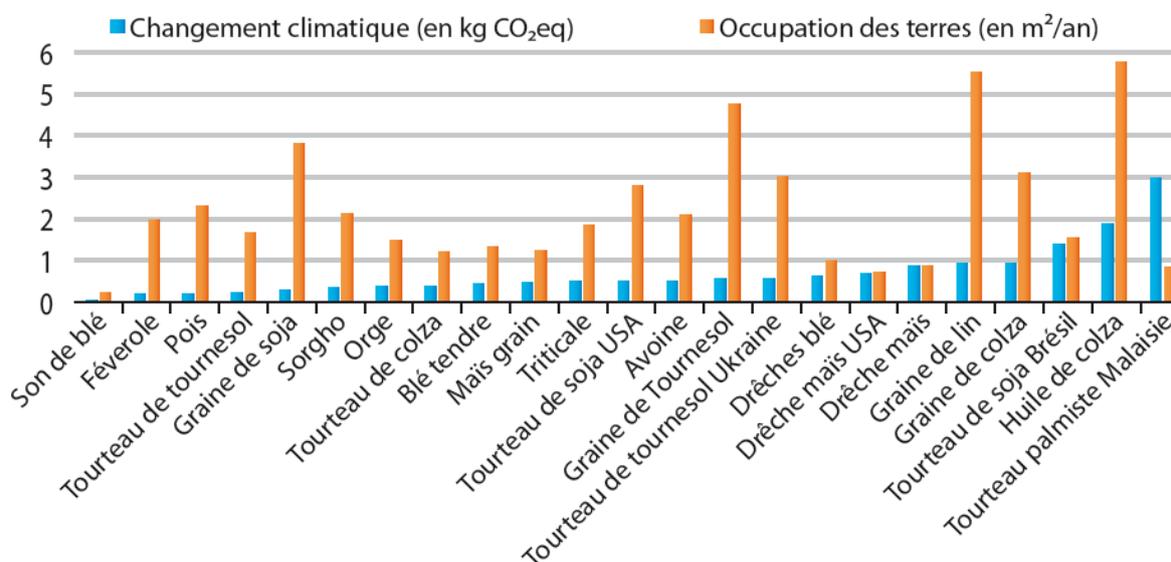


Figure 12 : Valeurs des impacts changement climatique et occupation des terres pour les principales matières premières

6.2.2. Prise en compte de la diversité des ITK et des procédés de transformation

Les données moyennes masquent des différences importantes d'itinéraires techniques (ITK) de production et de procédés de transformation. Or, la formulation se base sur un choix de matières premières, au détriment d'autres. Il a semblé important de compléter les données moyennes par des itinéraires de production spécifiques susceptibles de réduire les impacts environnementaux liés aux pertes d'azote (émissions de nitrate, d'ammoniac et de gaz à effet de serre) ou aux apports d'engrais azotés minéraux (contribution de leur production à la consommation d'énergie et aux émissions de gaz à effet de serre). Même si ces modes de production ne sont pas à ce stade tracés pour les fabricants d'aliments, ils constituent de véritables leviers agronomiques pour la réduction des impacts environnementaux de l'alimentation animale, au même titre que la substitution de matières premières dans la formulation.

La Figure 13 présente les valeurs d'impacts selon différents itinéraires cultureux pour le blé, le maïs, l'orge, le colza et le tournesol : introduction d'intercultures, de légumineuses dans la rotation, ou fertilisation organique. Ce sont en particulier des pratiques identifiées par l'expertise INRA (Pellerin et al., 2013) comme pouvant contribuer à l'atténuation des émissions de gaz à effet de serre du secteur agricole. Ces pratiques sont des techniques relativement bien maîtrisées, déjà mises en œuvre par certains agriculteurs mais pouvant être plus répandues. Les scénarios ont été construits en tenant compte de contextes régionaux (ex : rotation, contexte pédo-climatique, disponibilité en matière organique) et sur la base des préconisations des instituts techniques agricoles.

L'introduction de couvert de mélange crucifères et légumineuses a pour vocation de réduire les émissions de nitrate au cours de l'interculture et d'apporter de l'azote à la culture suivante par fixation symbiotique. D'après les résultats de l'enquête SSP 2011, 30% des parcelles en grandes cultures sont couvertes en été ou en automne. Les légumineuses et mélange avec légumineuses représentent moins de 10% des couverts.

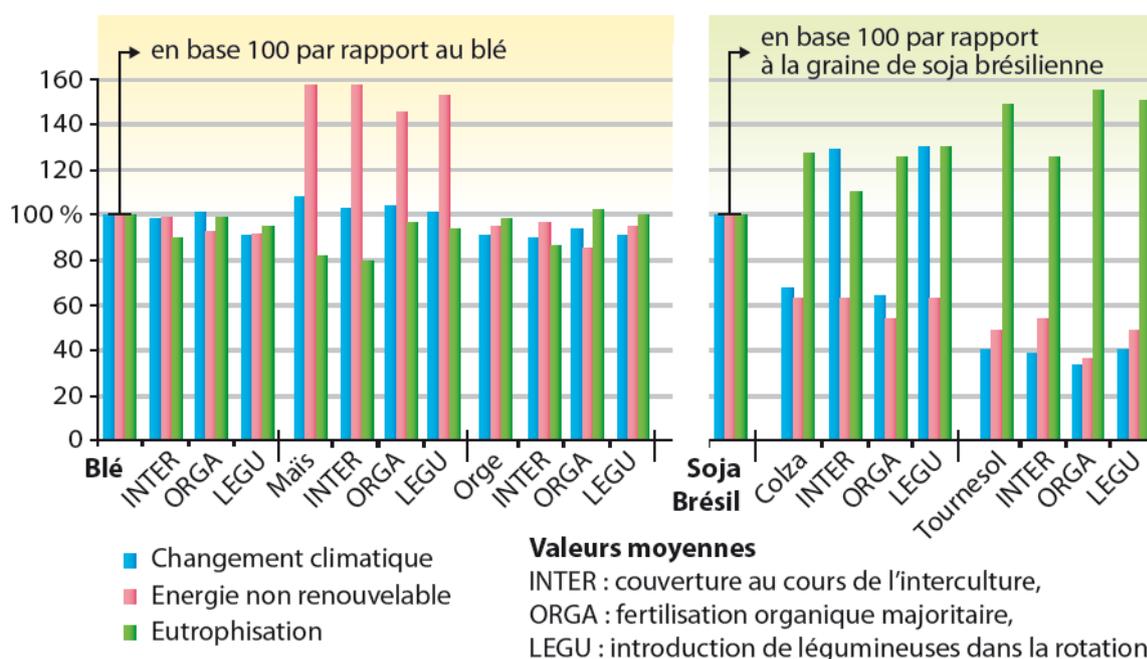
L'introduction de légumineuses en culture principale permet également de réduire les apports d'engrais azoté minéral sur la culture suivante. En France, les légumineuses à graines représentaient, en 2010, 397 109 ha. L'étude de Pellerin et al. (2013) avait estimé un développement potentiel supplémentaire de 877 814 ha par rapport aux surfaces déjà cultivées.

Enfin, l'apport d'engrais organique permet de réduire les quantités d'azote minérale apportées. Il permet également d'accroître la teneur en matière organique du sol et ainsi contribuer à la séquestration du carbone. Cet effet n'a cependant pas été pris en compte dans le cadre de cette étude. En grandes cultures, 75% des surfaces des parcelles reçoivent exclusivement de l'azote minéral. La faible part de parcelles fertilisées avec de l'organique s'explique par la spécialisation agricole des régions (Enquête Pratiques Culturelles, 2006) mais aussi par des contraintes relatives aux épandages vis-à-vis des besoins en azote des cultures.

Un même levier peut conduire à des effets différents en fonction des cultures. En fonction des cultures et leviers, on a ainsi pu observer une réduction de l'impact CC de 0 à 18 %. L'impact CED a été réduit principalement du fait du levier fertilisation organique (de 7 à 33% en fonction des cultures). Pour cet impact, les réductions observées étaient moins fortes que pour les autres leviers. On observe même une augmentation de l'impact CED du tournesol avec le levier couverture à l'interculture. L'impact EU a été réduit par le levier couverture à l'interculture de 11 à 16% en fonction des cultures.

L'intégration de ces leviers a pu conduire à des effets opposés dans ces bilans. Ainsi, si la couverture du sol au cours de l'interculture a pu réduire l'impact EU du fait de la réduction de la lixiviation du nitrate, l'effet de la réduction des apports azotés minéraux sur les indicateurs CC et CED a été masqué par l'augmentation de la consommation carburant pour la gestion de ce couvert. L'effet de la réduction des apports azotés minéraux sur CC dans les scénarios avec fertilisation organique a été compensé par des apports azotés totaux supérieurs à ceux du scénario de base. En effet, la méthode utilisée (GIEC tier 1) pour estimer les émissions de gaz à effet de serre au champ liées à la fertilisation prend en compte la quantité d'azote totale mais pas la forme, et ne tient pas compte du stockage de carbone dans les sols. Cela a pu conduire à un impact CC légèrement supérieur pour l'orge et le blé tendre avec le scénario fertilisation organique. L'effet de l'implantation de légumineuses en culture principale a réduit les impacts CC et CED du blé et du maïs uniquement du fait de la position de ces légumineuses dans la rotation. Cette insertion a augmenté faiblement les quantités de nitrate lixiviées de certaines rotations et ainsi conduire à une légère augmentation de l'impact EU de certaines cultures.

Suivant les impacts environnementaux considérés les leviers agronomiques étudiés n'ont pas les mêmes conséquences. Ainsi, les leviers à favoriser dans les formulations et à promouvoir sur le terrain doivent être adaptés aux problématiques environnementales des territoires.



Légende : valeurs moyennes, INTER : couverture au cours de l'interculture, ORGA : fertilisation organique majoritaire, LEGU : introduction de légumineuses dans la rotation

Figure 13 : Variation de certains impacts selon les itinéraires cultureux pour cinq cultures françaises



Synthèse des résultats sur les impacts environnementaux des intrants alimentaires des élevages

- La base de données ECOALIM fournit des données d'impact ACV qui ont été produites avec une méthodologie et des références harmonisées, en cohérence avec la dynamique française Agribalyse® (ce qui permet leur mobilisation dans un objectif d'affichage environnemental pour les produits animaux). Elle repose sur des données représentatives, récentes et variées en termes d'itinéraires de production. Elle fournit des données homogènes pour lesquelles les risques de double comptage et de non recouvrement des impacts sont minimes. Cette base construite avec les acteurs de la nutrition animale en France et les filières de production des matières premières contient les matières premières permettant de renseigner des rations complètes, avec des matières premières pour lesquelles il n'existait pas de référence disponibles auparavant. L'introduction de matières premières « innovantes » (encore minoritaires en terme de gisement) dans la base permettra de calculer les impacts environnementaux de formules d'aliment innovantes qui réduisent les impacts environnementaux. L'évaluation de différents ITK de production souligne le travail de filière qui doit se mettre en place, avec des progrès réalisés à chaque étape et in fine valorisés au niveau des produits animaux.
- Les différents périmètres disponibles sont adaptés à la diversité des utilisations et des approvisionnements existants dans la pratique : fabrication à la ferme, achat en national et/ou à l'international, matières premières brutes ou transformées.
- La base ECOALIM constitue une opportunité pour le secteur de la nutrition animale et les fabricants d'aliments français pour réfléchir la réduction des impacts environnementaux des aliments. En effet, la base Agrifootprint disponible pour l'Europe constitue une première information intéressante mais son utilisation dans un contexte français peut aboutir à des choix de matières premières erronés d'un point de vue environnemental, parce qu'elle repose sur des données moins précises qu'ECOALIM conduisant potentiellement à une hiérarchie différente des matières premières.
- La pérennité de la base de données ECOALIM c'est-à-dire sa mise à jour avec des données d'itinéraires cultureux, de rendements et de process de transformation les plus récentes dépend de l'adhésion et de la participation des professionnels du secteur. Ceci est d'autant plus important dans la perspective d'incorporation des données environnementales dans les tables de composition et de valeurs nutritives des matières premières destinées aux animaux d'élevage éditées par l'INRA et l'AFZ. Cette future incorporation permettra également à la base ECOALIM de contribuer à l'enseignement supérieur et au développement.

6.3. Aliments actuels : aliments témoins

La formulation à moindre coûts pour les 4 contextes économiques dans un contexte de disponibilité limitée en matières premières a permis de générer des aliments qui constituent la référence à laquelle sont comparés les écoaliments. Les profils de ces écoaliments en termes de composition en matières premières, ainsi que leurs impacts environnementaux sont fournis en annexe 3. La composition des aliments témoins est présentée ci-après (Figure 14, Figure 15 , Figure 16).

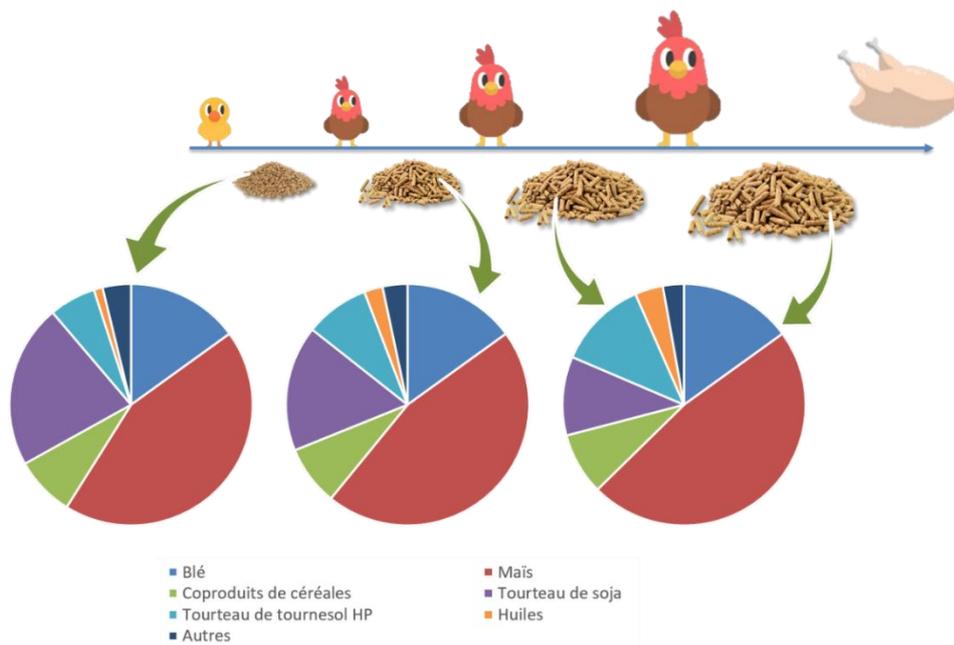


Figure 14 : Composition moyenne des aliments témoins du poulet standard. De gauche à droite : aliment démarrage, croissance, finition

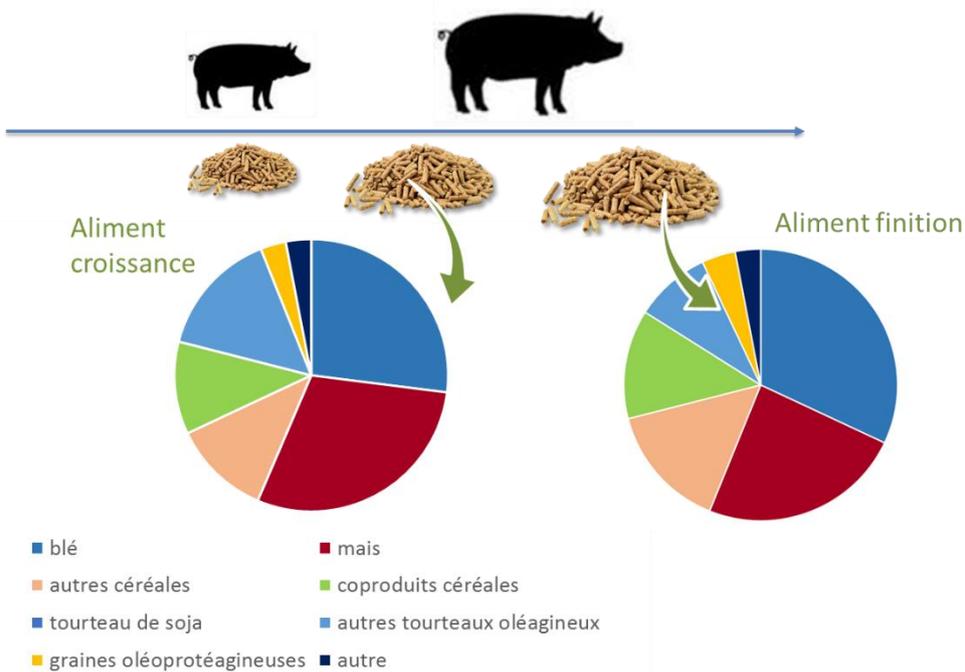


Figure 15 : Composition des aliments engraissement témoins du porc

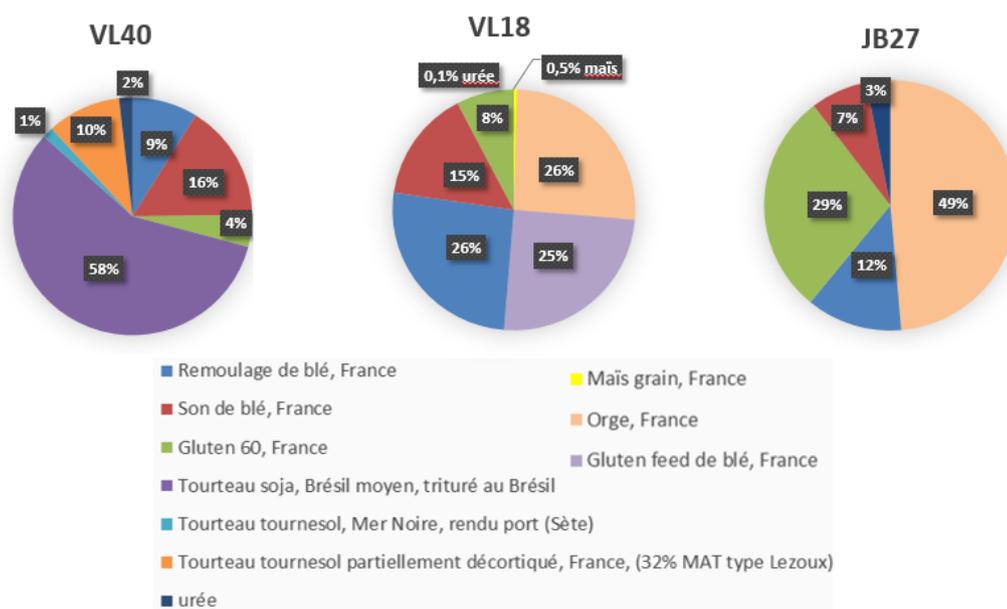


Figure 16 : Composition moyenne des aliments concentrés bovins témoins

6.3.1. Effet du contexte économique

Le contexte économique modifie la composition de la formule, de façon plus modérée en porc (avec des variations de 2% et 12%), et plus importante dans les autres filières animales.

Pour l'aliment moyen du poulet de chair, la quantité de tourteau de soja ne cesse de diminuer entre septembre 2011, juin 2012, août 2013 et février 2014 (avec l'augmentation de son prix) tandis que le tourteau de tournesol riche en protéines occupe une part plus importante de la formule. La modification de composition de la formule, et notamment de la teneur en tourteau de soja, entraîne des modifications significatives de la consommation de phosphore, de l'émission de gaz à effet de serre et de l'utilisation des terres, respectivement de -13 %, -8 % et +18 % entre septembre 2011 et février 2014.

La composition des aliments pour bovins est très variable selon le contexte économique, ce qui induit de fortes variations de tous les impacts environnementaux (parfois >20%).

Tableau 23 : Variation des impacts environnementaux des aliments témoins en fonction des différents scénarios économiques, contexte Grand Ouest, scénario LIM

Impacts environnementaux	Coefficient de variation entre les scénarios économiques (%)				
	Aliment moyen engraissement porc	Aliment moyen poulet de chair	VL40	VL18	JB47
Consommation de Phosphore	9%	6%	14%	7%	15%
Consommation d'énergie non renouvelable	12%	1%	21%	9%	30%
Emission de GES	3%	3%	4%	7%	18%
Acidification	5%	1%	11%	9%	16%
Eutrophisation	2%	7%	12%	6%	13%
Utilisation des terres	5%	1%	8%	13%	13%

6.3.2. Effet des scénarios d'approvisionnement

La composition des aliments est très peu influencée par le scénario d'approvisionnement mais certains impacts environnementaux varient de façon significative entre les scénarios d'approvisionnement, selon que le transport contribue beaucoup ou non à l'impact en question. C'est le cas de la consommation d'énergie non renouvelable qui diminue de plus de 10 % entre le scénario éloigné route et le scénario local.

Avec l'exemple du poulet de chair (Tableau 24), les compositions sont plutôt conservées. Seul le scénario « local » se distingue légèrement avec une utilisation supérieure de tourteau de soja (+ 2 points environ) réduisant d'autant l'utilisation de tourteau de tournesol décortiqué. En conséquence, les impacts environnementaux sont également peu affectés.

Tableau 24 : Variation des impacts environnementaux des aliments témoins poulet de chair en fonction des différents scénarios d'approvisionnement en MP, contexte juin 2012, scénario LIM

Impacts environnementaux	Coefficient de variation entre les scénarios d'approvisionnement en MP (%)
	Aliment moyen poulet de chair
Consommation de Phosphore	1%
Consommation d'énergie non renouvelable	5%
Emission de GES	3%
Acidification	1%
Eutrophisation	1%
Utilisation des terres	1%

Pour les aliments concentrés bovins, pour l'aliment VL18, il y a un effet positif du scénario « éloigné transport par train » (-10% de GES et -14% de Consommation d'Énergie par rapport à l'aliment du scénario « éloigné transport par route »).

6.4. Réduction des impacts environnementaux un à un

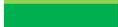
En cherchant à réduire les impacts environnementaux un à un, on montre que l'on peut atteindre des réductions significatives. Toutefois, des augmentations de prix y sont associées, ainsi que des augmentations d'autres impacts environnementaux que ceux optimisés : il y a un transfert de pollution. En effet, lorsqu'on atteint une baisse de l'impact Consommation de phosphore, cela se fait généralement au détriment des autres impacts. De même, lorsque l'on diminue des GES pour les aliments volaille et bovin, l'impact sur l'utilisation des terres augmente, en particulier dans les aliments riches en tourteau de soja. Ces résultats montrent toutefois que dans certains cas, des impacts peuvent être réduits conjointement.

Tableau 25 : Matrice des réductions des impacts environnementaux obtenus pour les aliments composés, en minimisant un seul des impacts à la fois (Contexte : prix Juin 2012, Grand Ouest, scénario NLIM)

	Impacts minimisés
--	-------------------

Réduction maximale obtenue pour l'impact minimisé (en gras) et incidence sur le prix et les autres impacts	Consommation de P	Consommation d'énergie	Changement climatique	Acidification	Eutrophisation	Occupation des terres
Aliment engraissement porc (35% croissance, 75% finition)						
Prix	8%	3%	5%	7%	6%	8%
Consommation de P	-35%	2%	-6%	-10%	-15%	-8%
Consommation d'énergie	1%	-20%	-13%	-19%	-3%	60%
Changement climatique	2%	-9%	-15%	-3%	-11%	47%
Acidification	-12%	-25%	-25%	-35%	-21%	55%
Eutrophisation	5%	-1%	-8%	-5%	-15%	5%
Occupation des terres	-12%	5%	-3%	0%	-13%	-40%
Aliments poulet de chair (6% démarrage, 20% croissance, 74% finition)						
Prix	6%	7%	5%	7%	5%	5%
Consommation de P	-37%	-5%	-15%	12%	3%	5%
Consommation d'énergie	-13%	-35%	-31%	-30%	-28%	-15%
Changement climatique	-3%	-12%	-27%	-5%	-6%	7%
Acidification	-15%	-28%	-23%	-37%	-31%	-10%
Eutrophisation	10%	-16%	-10%	-19%	-21%	-19%
Occupation des terres	21%	6%	20%	0%	-5%	-20%
VL40						
Prix	5%	6%	7%	13%	2%	3%
Consommation de P	-35%	5%	-21%	16%	7%	76%
Consommation d'énergie	47%	-31%	-17%	-11%	-1%	-10%
Changement climatique	8%	2%	-21%	-7%	0%	17%
Acidification	44%	14%	21%	-16%	-10%	16%
Eutrophisation	79%	3%	10%	19%	-2%	4%
Occupation des terres	57%	-3%	26%	50%	7%	-17%
VL18						
Prix	8%	15%	15%	20%	16%	1%
Consommation de P	-24%	137%	52%	76%	78%	-16%
Consommation d'énergie	37%	-16%	14%	17%	-7%	11%
Changement climatique	27%	92%	-21%	-16%	33%	9%
Acidification	24%	-4%	-39%	-42%	-22%	35%
Eutrophisation	19%	24%	0%	10%	-11%	2%
Occupation des terres	-3%	89%	72%	92%	10%	-25%
JB27						
Prix	8%	26%	21%	18%	7%	4%
Consommation de P	-27%	73%	53%	73%	75%	-23%
Consommation d'énergie	14%	-62%	-53%	-17%	-31%	-20%
Changement climatique	0%	-27%	-38%	-37%	-5%	-20%
Acidification	-7%	-23%	-34%	-52%	-39%	-12%
Eutrophisation	-4%	13%	3%	-1%	-27%	-17%
Occupation des terres	0%	118%	98%	121%	3%	-24%

Code couleurs :

	↑ prix ou impact <5%		↓ entre 5% et 10%
	↑ prix ou impact supérieure à 5%		↓ supérieure à 10%
	↓ nulle ou inférieure à 5%		

Les analyses des réductions de chacun des impacts « pas à pas » avec des seuils d'augmentation progressifs des prix a permis de vérifier la dynamique. L'exercice n'a pas permis d'aller aussi loin dans les différentes filières car elle a été stoppée par l'expertise du

formulateur lorsque les formules devenaient selon lui incohérentes. Ainsi, en porc, la réduction maximale de l'impact changement climatique atteinte est de 15%, alors qu'elle approche les 27% en volaille et peut aller jusqu'à 40% pour les concentrés des bovins VL40.

Lorsque la dynamique peut-être poursuivie suffisamment, elle s'avère avoir un comportement similaire entre les impacts et les filières animales. La réduction de l'impact est plus importante au démarrage, puis elle atteint un plancher à partir duquel les nouvelles réduction d'impact sont très marginales au regard de l'augmentation du coût associée.

En volaille, les phases de croissance et finition ont un potentiel de réduction plus important pour tous les impacts que l'aliment démarrage du fait des contraintes nutritionnelles moins exigeantes (ce sont les phases les plus consommées et les plus chères). En porc, les aliments engraissement ont d'emblée été choisis comme prioritaires en raison de leur importantes en terme de tonnages et de coûts.

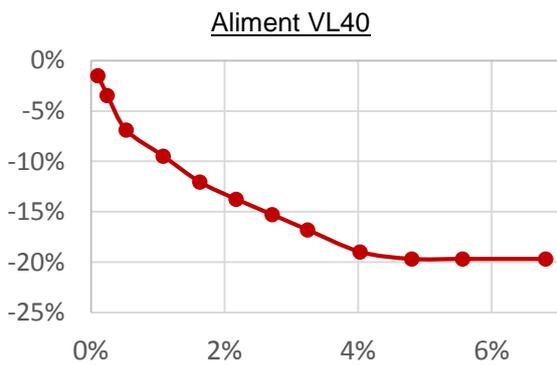
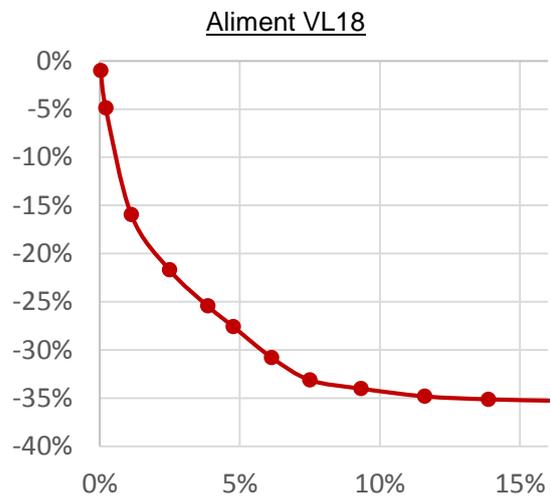
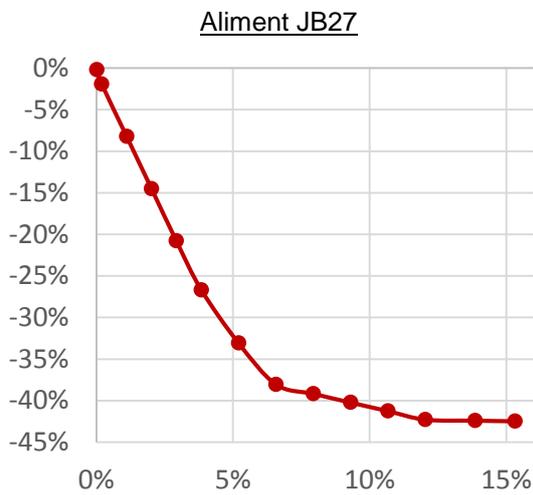
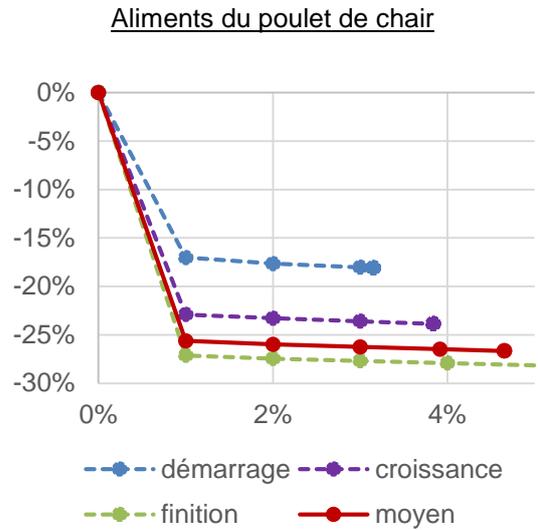
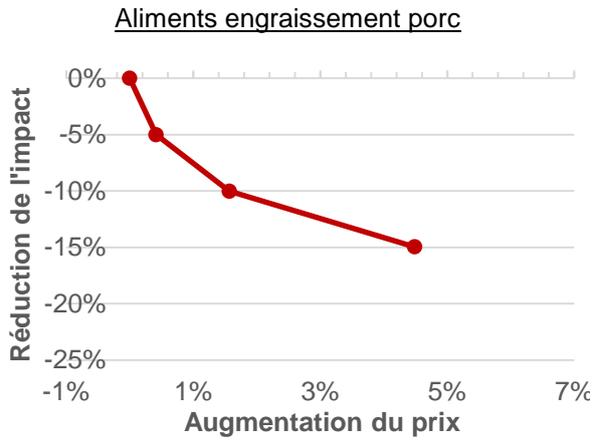


Figure 17 : Réductions « pas à pas » de l'impact Changement climatique des aliments composés et incidence sur le prix, par rapport aux témoins dans un contexte de disponibilité en matières premières élargie et pour le scénario d'approvisionnement du Grand Ouest

6.5. Optimisation multicritère

6.5.1. Filière porcine

En filière porcine, les écoaliments ont été calculés pour différentes stratégies d'alimentation en engraissement.

Des premiers résultats sont données pour la stratégie d'alimentation biphasé « classique » (avec utilisation de deux aliments croissance et finition).

Quel que soit le scénario de disponibilité des MP, les proportions de céréales et de tourteaux dans les formules des aliments finition diminuent quand on passe d'une formulation optimisée sur prix (MinPrix) à une formulation optimisée en multicritère prix et environnement (MinMO) (Figure 18).

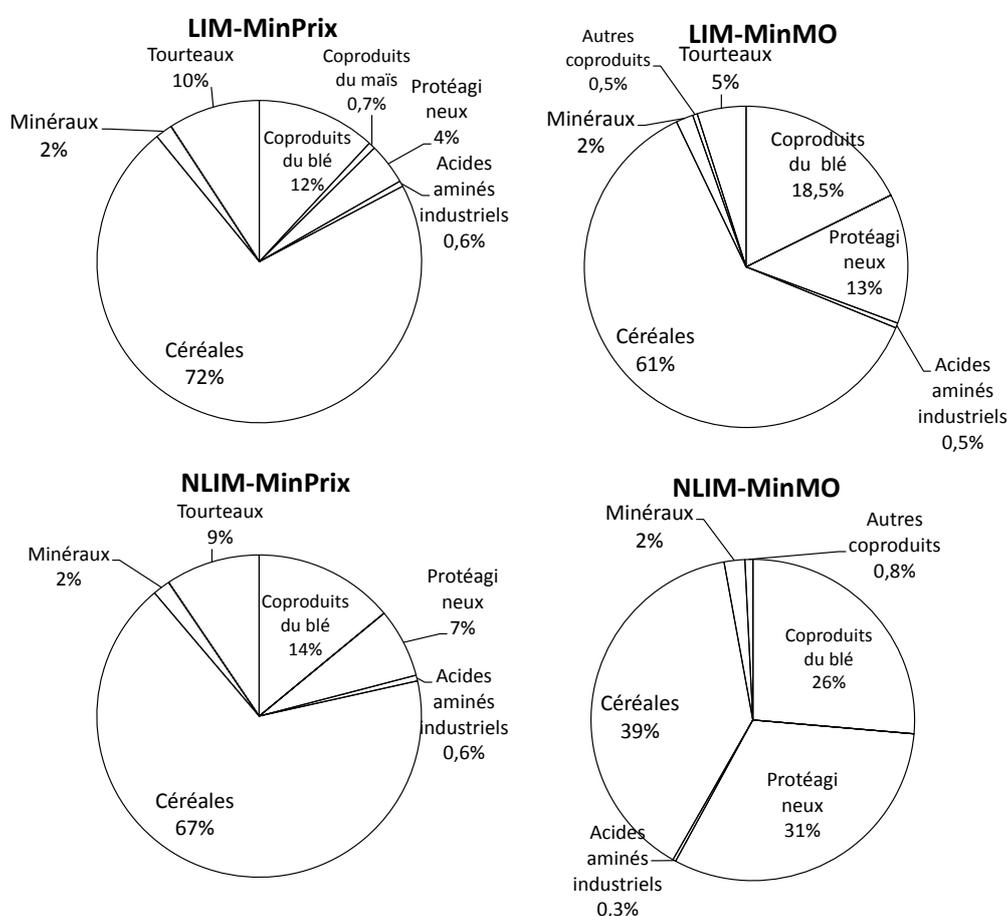


Figure 18 : Formules moyennes des aliments finition obtenus avec les scénarios LIM-MinPrix, NLIM-MinPrix, LIM-MinMO et NLIM-MinMO (avec $\alpha = \alpha_{lim}$), pour les 4 scénarios économiques

La proportion des coproduits de blé et des graines oléo-protéagineuses augmente avec MinMO parce qu'elles ont des impacts environnementaux inférieurs à ceux des céréales et des tourteaux. Leur proportion est également accrue entre LIM-MinMO et NLIM-MinMO en raison de la meilleure disponibilité en coproduits et légumineuses tels que le remoulage de blé, la farine basse de blé et le pois dans le scénario NLIM. Les mêmes points ont également été observés pour les aliments croissance.

Les variations conjointes de l'index de prix et de l'index environnemental quand α varie entre 0 et 1 montrent un potentiel de réduction des impacts environnementaux et un surcoût pour chacun des scénarios explorés (Figure 19). Quand $\alpha=0$, l'index de prix et l'index environnemental sont égaux à 1 car ce cas correspond à la formulation MinPrix (tout le poids est mis sur l'index de prix).

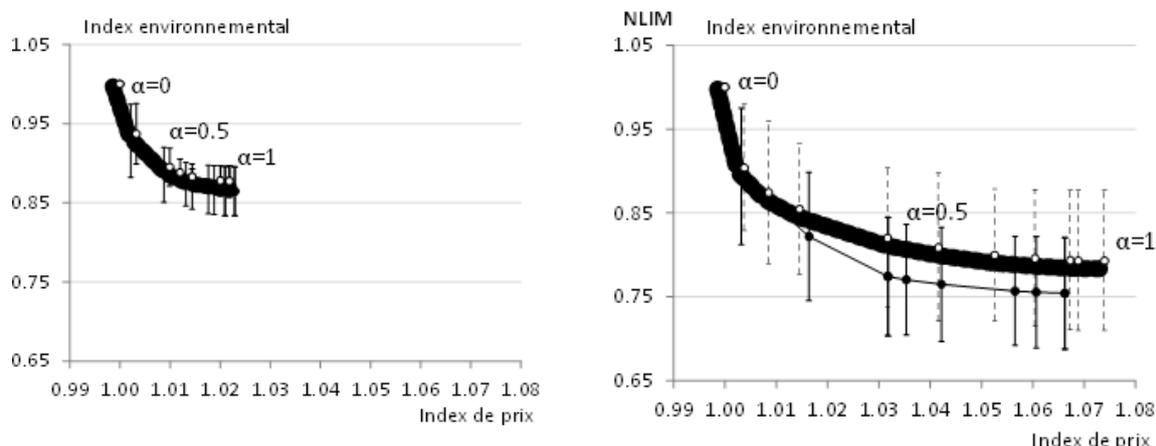


Figure 19 : Variation des index de prix et environnemental selon le facteur α dans les scénarios LIM et NLIM lors de la formulation des aliments croissance (●) et finition (○)

Quand α varie entre 0 et 0.5, l'index de prix des aliments produits dans un contexte de disponibilité en matières premières élargie (NLIM) augmente en moyenne de 2% tandis que l'index environnemental est réduit de 17 à 20%. Quand la valeur de α augmente encore jusqu'à 1, l'index de prix atteint +5-6% alors que l'index d'impact environnemental reste à peu près stable.

En scénario NLIM on observe également que le potentiel de réduction de l'index environnemental est toujours supérieur pour l'aliment croissance vs. l'aliment finition.

Les variations observées dans le scénario LIM sont du même type mais plus faibles qu'en scénario NLIM. La réduction de l'index environnemental atteint au maximum -13%, avec peu de différence entre l'aliment croissance et l'aliment finition.

Cette relation entre index de prix et index d'impact environnemental montre que dans notre contexte, il ne serait pas conseillé d'augmenter la valeur de α au-delà de 0.5 parce qu'il n'y a pas de réduction supplémentaire d'impact qui puisse être attendue.

Tableau 26 : Prix moyens et impacts environnementaux (\pm écart-type) d'une tonne d'aliment moyen (40% croissance et 60% finition) selon les 4 scénarios étudiés, avec les variations (delta) en MinMO en pourcentage relativement à MinPrix.

	Prix (€)	DP (kg P)	EN (MJ)	CC (kgCO ₂ -e)	OT (m ² .year)	AC (mol H ⁺)	EU (kg PO ₄ ³⁻)
LIM-MinPrix	216 (\pm 12.4)	3.4 (\pm 0.36)	5150 (\pm 568.7)	499 (\pm 18.2)	1418 (\pm 59.5)	9.7 (\pm 0.48)	3.6 (\pm 0.05)
	+1%	-6%	-13%	-14%	-13%	-7%	-11%
LIM-MinMO $\alpha = \alpha_{lim}$	219 (\pm 12.5)	3.2 (\pm 0.15)	4475 (\pm 347.2)	427 (\pm 4.6)	1235 (\pm 16.4)	9.0 (\pm 0.57)	3.2 (\pm 0.03)
NLIM-MinPrix	214 (\pm 11.0)	3.6 (\pm 0.41)	4750 (\pm 503.9)	456 (\pm 64.1)	1514 (\pm 43.9)	8.3 (\pm 1.48)	3.4 (\pm 0.25)
	+4%	-25%	-18%	-26%	-12%	-20%	-15%
NLIM-MinMO $\alpha = \alpha_{lim}$	222 (\pm 8.4)	2.7 (\pm 0.15)	3899 (\pm 290.5)	337 (\pm 11.5)	1325 (\pm 61.8)	6.6 (\pm 0.42)	2.9 (\pm 0.09)

En conséquence, le Tableau 26 fournit les prix moyens et les impacts environnementaux moyens du mélange d'aliments formulés à $\alpha = \alpha_{\text{lim}}$. La valeur moyenne de α_{lim} en scénario LIM est de 0,57, et de 0,59 en scénario NLIM. Relativement à LIM-MinPrix, LiM-MinMO réduit tous les impacts environnementaux compris dans la fonction-objectif ainsi que l'eutrophisation et l'acidification, tout en augmentant légèrement le prix de l'aliment (+1%). Les gains environnementaux en LIM-MinMO par rapport en LIM-MinPrix sont minimaux pour DP (-6%) et maximaux pour CC (-14%). Comparativement à NLIM-MinPrix, NLIM-MinMO réduit tous les impacts environnementaux considérés d'au moins 12%, en augmentant le prix de l'aliment de 4%. Les réductions d'impacts atteignent -25% et -26% pour DP et CC, respectivement.

Dans les cas de la filière porcine, la réduction des impacts par optimisation multi-objectif a été obtenue en incorporant moins de tourteaux et de céréales et plus de coproduits et de graines protéagineuses (en particulier le pois) que dans les formules optimisées à moindre coût. En effet, les coproduits sont caractérisés par des impacts relativement faibles associés à l'allocation économique des impacts adoptée dans ECOALIM et le pois a des impacts inférieurs à ceux des tourteaux de soja et de colza (Wilfart et al., 2016). La réduction des impacts est aussi améliorée par la disponibilité des MP quand on compare les formulations MinPrix et MinMO. Les réductions d'impacts obtenues en MinMO oscillent entre -12% et -26% en NLIM alors qu'elles varient entre -6% et -14% en contexte LIM. Cette observation suggère qu'un meilleur équilibre entre les différentes productions culturales serait bénéfique aux impacts environnementaux de la filière porcine.

Dans nos scénarii « porcs », la réduction des impacts est intéressante pour $\alpha = \alpha_{\text{lim}}$ avec une augmentation du coût modérée et chacun peut facilement identifier qu'il n'y a pas de réduction supplémentaire substantielle possible au-delà de cette valeur limite de α .

La Figure 20 présente les résultats obtenus pour les écoaliments formulés avec les autres stratégies d'alimentation en engraissement.

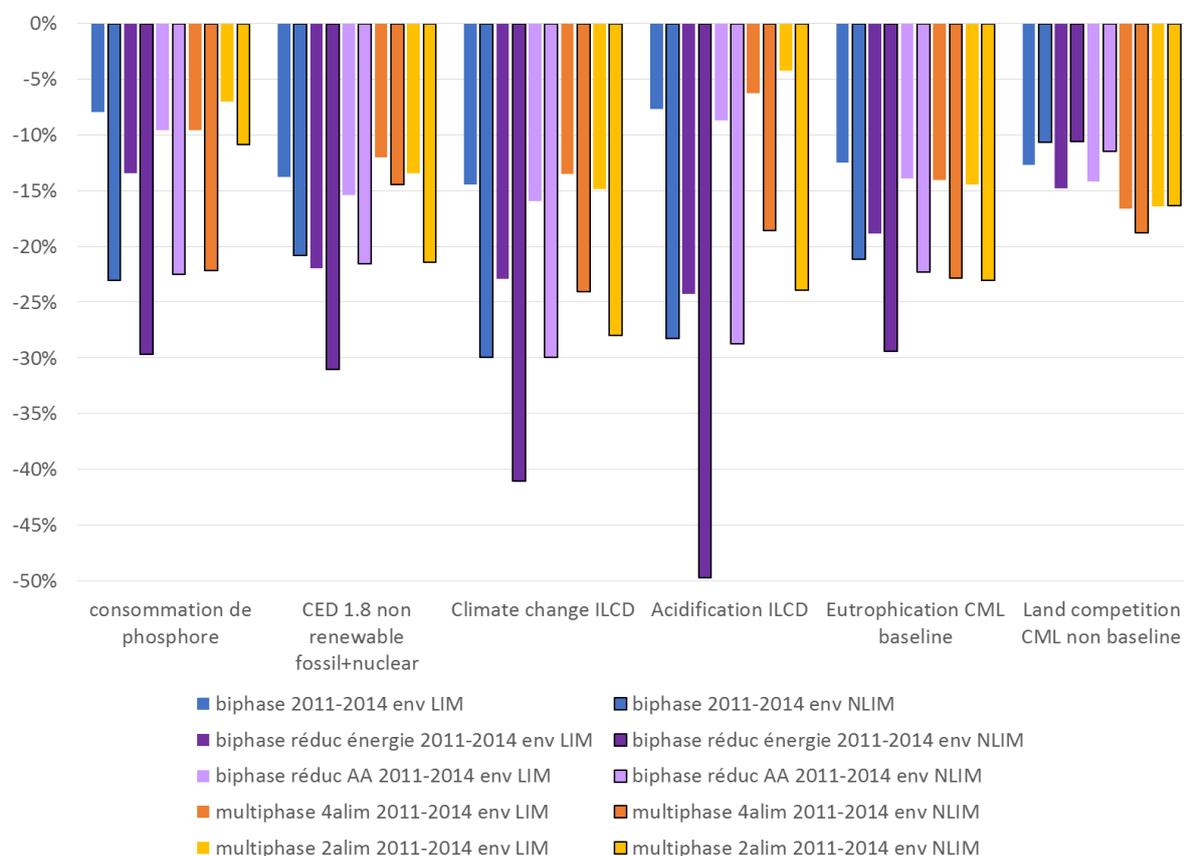


Figure 20 : Réduction des impacts environnementaux des écoalimentés obtenus avec différentes stratégies d'alimentation en comparaison de la stratégie d'alimentation biphasé à moindre coût

Les réductions d'impact à la tonne d'aliment engraissement sont systématiques.

- Elles sont plus importantes en contexte de disponibilité en MP élargie comparativement à celles obtenues dans un contexte de disponibilité limitée.
- Les réductions d'impact les plus élevées sont celles obtenues avec la stratégie d'alimentation biphasé avec réduction des teneurs en énergie des aliments. Ce résultat était attendu car la dégradation de la qualité des aliments lève un certain nombre de contrainte donnant plus de souplesse dans le choix des matières premières. La question est de savoir si la réduction d'impacts environnementaux supplémentaire obtenue à l'échelle des aliments, n'est pas perdue à l'échelle des produits animaux en sortie d'élevage.

6.5.2. Filière poulet de chair

Quel que soit le contexte économique ou le scénario de disponibilité des MP, l'utilisation de la méthode MinMO se traduit par une augmentation de la part des coproduits (coproduits de céréales, tourteaux de colza et de tournesol) dans les formules (+9 % en moyenne pour $\alpha = \alpha_{opt}$). Par ailleurs, les formules obtenues par formulation MinMO avec $\alpha = \alpha_{opt}$ contiennent moins de céréales (-8 % en moyenne). Celles-ci étant remplacées par des oléo-protéagineux (+6 % en moyenne) et de l'huile de colza (+2 % en moyenne) (Figure 21).

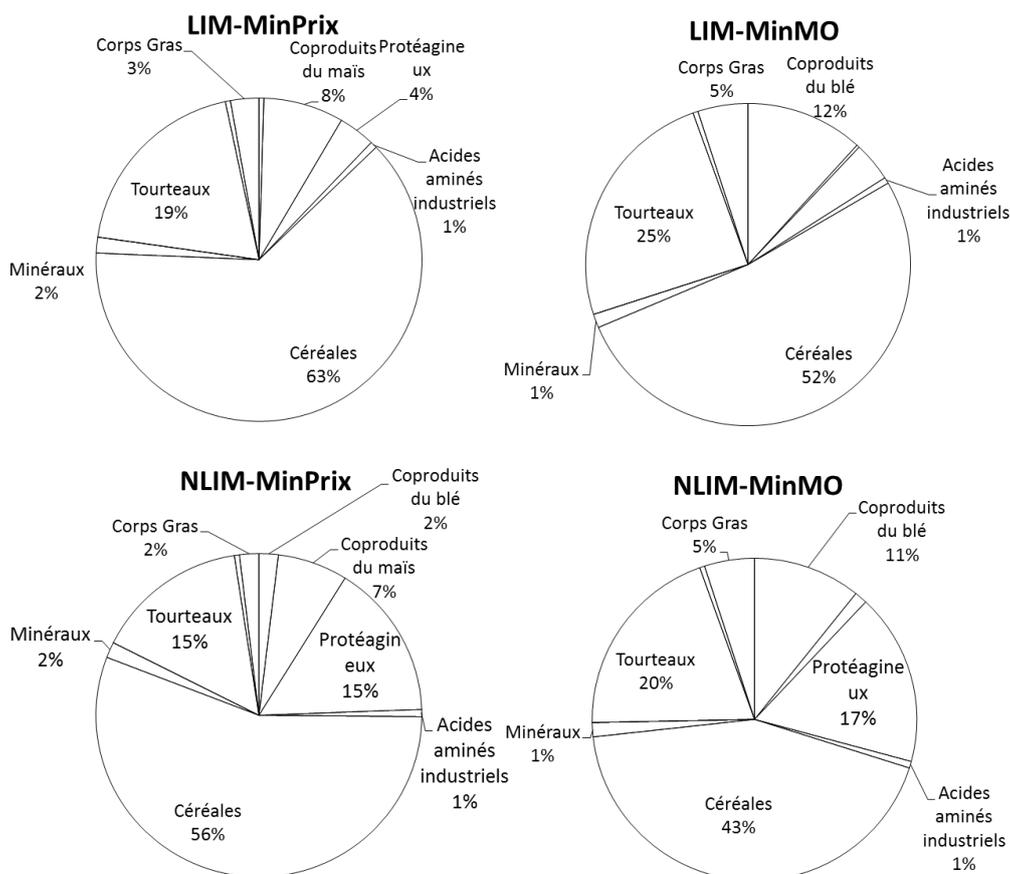


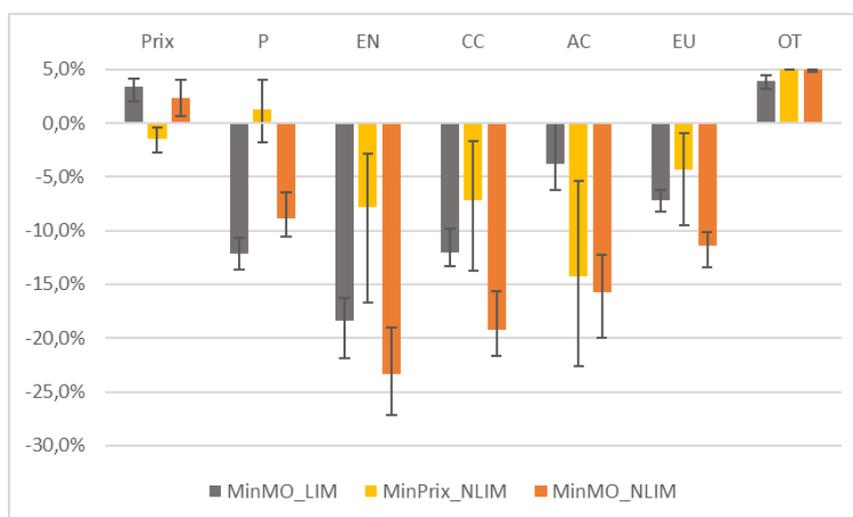
Figure 21 : Formules moyennes des aliments finition poulets de chair des scénarios LIM-MinPrix, NLIM-MinPrix, LIM-MinMO et NLIM-MinMO (avec $\alpha = \alpha_{lim}$), pour les 4 scénarios économiques

Si la méthode MinMO semble conduire à une diversification des formules (augmentation du nombre d'espèces végétales utilisées), l'effet des scénarios LIM vs NLIM reste le facteur principal.

Dans le cadre du scénario LIM, le maïs est substitué par du blé tandis que le tourteau de soja est remplacé par des tourteaux de colza et de tournesol ainsi que des graines de colza. De la même façon, l'huile de soja laisse place à l'huile de colza.

Dans le cadre du scénario NLIM, le sorgho remplace en grande partie le maïs dans les formules MinPrix. Il est à son tour remplacé par du blé dans les formules MinMO. L'incorporation de pois ou de féverole selon les contextes économiques, participe à réduire l'utilisation de tourteau de soja.

Dans le cas du contexte LIM, la formulation MinMO avec $\alpha = \alpha_{opt}$ permet d'améliorer de façon significative les impacts potentiels P, EN et CC en moyenne de respectivement -12 %, -18 % et -12 %. De plus, AC et EU tendent à être réduits également sans augmentation significative d'OT borné à +5%. Les impacts environnementaux de l'éco-aliment ainsi obtenu sont donc bien améliorés par rapport à l'aliment de référence pour un surcoût de 3,4 % en moyenne (moins de 10 €/t) (Figure 22).



Ecarts moyens avec barre des minimums et maximums observés.

Légende : P = consommation de phosphore ; EN = utilisation d'énergie non renouvelable ; CC = changement climatique ; AC = acidification ; EU = eutrophisation ; OT = occupation des terres

Figure 22 : Effets de la formulation multiobjectif (MinMO) (avec $\alpha = \alpha_{opt}$) et/ou du scénario de disponibilité des MP sur le prix et les impacts environnementaux de l'aliment moyen, exprimés en relatif par rapport à un aliment formulé à moindre coût (MinPrix) dans le scénario LIM.

L'élargissement du panier de MP (contexte NLIM) permet une amélioration « spontanée » (en formulation MinPrix) du prix de l'aliment et de certains impacts environnementaux comme EN, CC et AC par rapport à l'aliment MinPrix_LIM. L'utilisation de la méthode MinMO avec $\alpha = \alpha_{opt}$ dans ce contexte NLIM conduit alors à une amélioration supplémentaire de l'index environnemental. Pour une moindre augmentation du prix (+2,3 % en moyenne, soit moins de 7 €/t), des améliorations moyennes respectives de -9 %, -23 %, -19 % et -16 % pour P, EN, CC et AC peuvent être attendues (Figure 2).

6.5.3. Filière bovine

La Figure 23 aborde l'exemple de l'aliment VL 40. L'objectif fixé était une réduction de -10% de l'impact GES à moindre coût via la formulation multi-objectifs. La réduction des GES obtenue est de -12% ; en contrepartie, il n'y a pas de réduction de l'impact Utilisation des Terres et l'impact Acidification augmente de +5%. Ces impacts sont limitants. Comme observé dans la réduction des impacts un à un, l'utilisation des terres augmentent lorsque l'impact GES tend à se réduire (effet du tourteau de soja). Ce nouvel aliment se compose de tourteau de colza (55%), tourteau de soja du Brésil (40%), corn gluten meal, concentré protéique de luzerne (CPL) et urée.

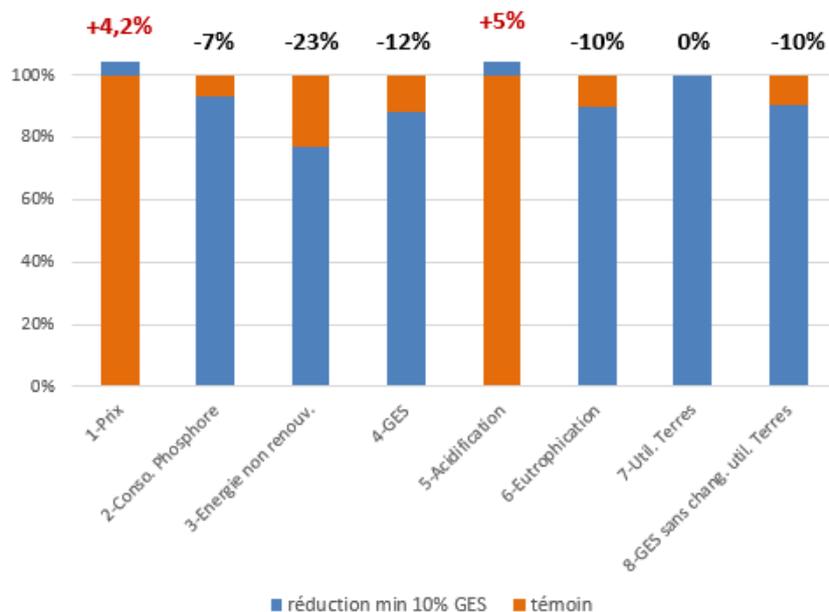


Figure 23 : Evolution des impacts environnementaux pour l'écoaliment VL40, en disponibilité limitée (contexte Juin-12)

Dans la Figure 24, pour l'aliment VL18, l'objectif fixé était une réduction de -10% de l'impact GES, une réduction de -5% pour les impacts consommation de P, consommations d'énergie, utilisation des terres à moindre coût, et une autorisation d'augmentation de l'impact Acidification jusqu'à +5%. La réduction des GES obtenue est de -11%. Ici, la composition est assez proche de l'aliment témoin en 2012 (Coproduits meunerie ≈ 40% ; Orge ≈ 30% ; CGF & Gluten60 ≈ 22%). L'utilisation du gluten feed de blé est réduite à zéro. Celle d'urée aussi. Apparaissent des pulpes betterave et du pois.

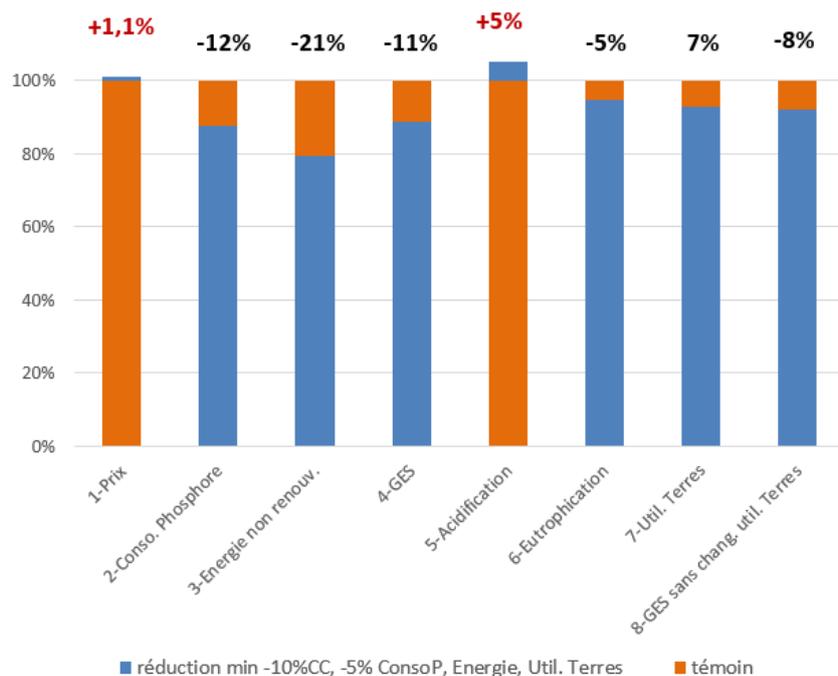


Figure 24 : Evolution des impacts environnementaux pour l'écoaliment VL18, en disponibilité limitée (contexte Juin-12)

En ce qui concerne l'aliment JB27 (Figure 25), les objectifs étaient les mêmes (-10% de l'impact GES, -5% des impacts consommation de P, consommations d'énergie, utilisation des terres). La réduction des GES obtenue est de -11%. Avec ces contraintes, le gluten feed de blé a disparu (11% initialement), les céréales (orge) passent de 22% à 8% (minimum imposé), il y a un peu moins d'urée et de gluten60, plus pois (Composition : Coproduits meunerie ≈ 40% ; CGF & Gluten60 ≈ 30 & 6% ; Pois ≈ 8% ; Orge ≈ 8% ; Pulpes de betterave déshydratée, urée).

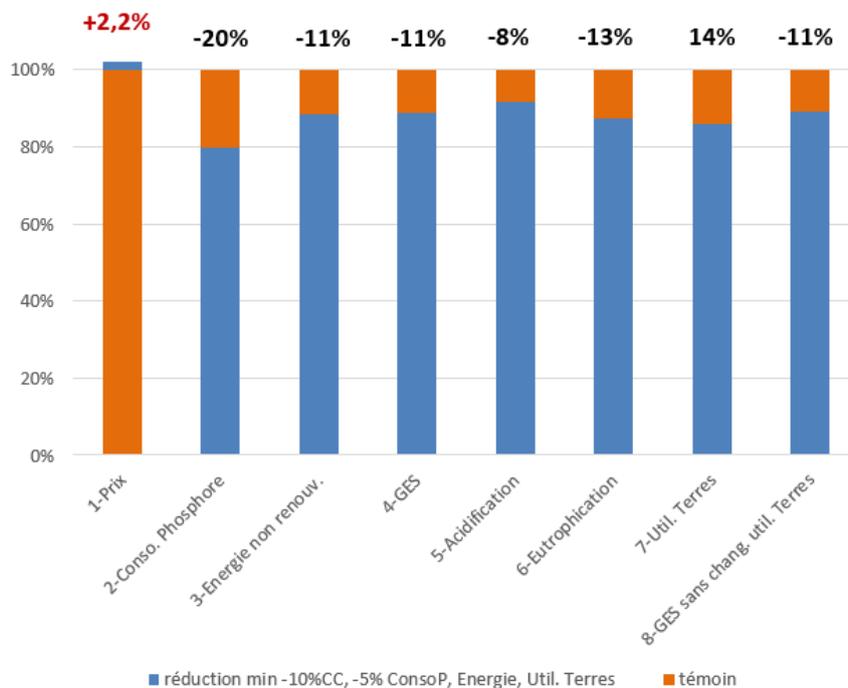


Figure 25 : Evolution des impacts environnementaux pour l'écoaliment JB27, en disponibilité limitée (contexte Juin-12)

Pour les correcteurs azotés à 40% MAT :

- Le tourteau de colza et le concentré protéique de Luzerne ont remplacé partiellement le tourteau de soja et les coproduits de céréales, pour réduire les GES.
- Le tourteau de soja reste présent dans les éco aliments notamment car il permet d'apporter de grandes quantités de protéines à l'aliment (qui a besoin de 40%MAT). De plus, par kg de protéines apporté, l'impact « occupation des terres » du tourteau de soja est plus faible que celui du tourteau de colza. Le prix de la protéine relativement faible dans certains contextes économiques étudiés peut aussi contribuer à sa présence.
- Il y a moins de coproduits céréaliers, ce qui peut s'expliquer par le fait que le tourteau de colza apporte une part plus importante d'énergie que ce qu'apportait le tourteau de soja, et peut-être car certains coproduits présentent certains impacts environnementaux relativement élevés.

Tableau 27 : Composition de l'aliment VL40 témoin de de l'Ecoaliment

	Tourteau soja	Tourteau colza	Autres coproduits de céréales**	Tourteau Tournesol	Issues de meunerie*	Autre ***
Aliment Témoin	47%	15%	13%	12%	9%	4%
Ecoaliment	40%	55%	2%	0%	0%	3%

*sons, remoulages, farine basse ; **Coproduits de distillerie et amidonnerie/glutennerie ; ***CPL, urée...

Pour l'aliment de production VL18 et JB27 :

- Apparition du tourteau de colza, des pulpes de betterave (VL 18 seulement) et du pois à la place des céréales et de certains coproduits
- Issues de meunerie (plutôt les farines basses ou les remoulages que les sons) au taux maximum d'incorporation (41%)

Tableau 28 : Composition de l'aliment VL18 témoin de de l'Ecoaliment

	Issues de meunerie*	Céréales	Autres coproduits de céréales**	Tourteau colza	Pulpes	Pois	Autre ***
Aliment Témoin	41%	27%	24%	3%	-	-	4%
Ecoaliment	41%	23%	13%	13%	9%	1%	0%

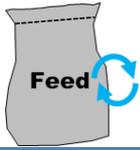
*sons, remoulages, farine basse ; **Coproduits de distillerie et amidonnerie/glutennerie ; ***CPL, tourteau soja, urée...

Tableau 29 : Composition de l'aliment JB27 témoin de de l'Ecoaliment

	Issues de meunerie*	Céréales	Autres coproduits de céréales**	Tourteau colza	Pois	Autre***
Aliment Témoin	41%	24%	21%	11%	-	4%
Ecoaliment	41%	8%	14%	33%	2%	2%

*sons, remoulages, farine basse ; **Coproduits de distillerie et amidonnerie/glutennerie ; ***CPL, tourteau soja, urée...

D'autres MP, qui n'apparaissent pas ici, sont également intéressantes du point de vue environnemental. Ainsi, la féverole n'entre pas dans les compositions des aliments formulés, mais les optimisations de certains impacts environnementaux 1 à 1, ont montré son apparition à partir d'un certain prix.



Synthèse des résultats sur l'optimisation environnementale de la formulation des aliments du bétail

L'optimisation environnementale de la formulation des aliments composés du bétail, impact par impact, a montré que des potentiels de réduction sont importants par le jeu de la substitution de matières premières. Pour autant, des transferts de pollution et des augmentations de coûts significatives ont été relevés avec des relations entre impacts qui diffèrent d'un aliment à l'autre.

C'est pourquoi une **nouvelle méthodologie, multi objectif, de formulation des aliments a été proposée dans le cadre du projet**. Elle intègre les impacts environnementaux calculés par ACV, dans l'approche traditionnelle de formulation à moindre coût.

Elle permet d'obtenir des réductions d'impacts environnementaux des aliments du bétail, sans transfert de pollution, ou du moins de les limiter.

Dans le contexte de disponibilité limitée en matières premières, les éco aliments porc arrivent à réduire l'ensemble des impacts environnementaux, jusqu'à moins de 20% pour l'aliment biphasé avec réductions des teneurs en énergie.

Pour les écoaliments volaille et bovins, des impacts peuvent être augmentés : c'est le cas de l'occupation des sols pour les écoaliments avicoles (impact pourtant dans l'équation multiobjectif mais qui varie à l'inverse des autres), et de l'acidification pour les écoaliments bovins (impact non intégré dans la fonction multiobjectif).

Tableau 30 : Matrice des réductions des impacts environnementaux obtenus pour les écoaliments composés, en utilisant la fonction multi objectif pour un contexte de disponibilité en MP limitée, en raisonnant par filière animale

Incidence des écoalimentations sur les impacts environnementaux et le prix (en % de différence par rapport aux aliments formulés à moindre coût : stratégie biphase pour le porc)		Consommation de P	Consommation d'énergie	Changement climatique	Acidification	Eutrophisation	Occupation des terres	Prix
Disponibilité en MP limitée	Aliment engraissement porc (35% croissance, 75% finition) – stratégie biphase	-8%	-14%	-14%	-8%	-12%	-13%	+1%
	Aliment engraissement porc – stratégie biphase avec réduction des teneurs en énergie	-13%	-22%	-23%	-24%	-19%	-15%	-1.5%
	Aliment engraissement porc – stratégie biphase avec réduction des teneurs en acides aminés	-10%	-15%	-16%	-9%	-14%	-14%	-0.5%
	Aliment engraissement porc – stratégie multiphase avec 4 aliments	-10%	-12%	-14%	-6%	-14%	-17%	-10%
	Aliment engraissement porc – stratégie multiphase avec 2 aliments	-7%	-13%	-15%	-4%	-14%	-16%	-4%
	Aliments poulet de chair (6% démarrage, 20% croissance, 74% finition)	-12%	-17%	-12%	-3%	-7%	+4%	+3%
	Aliment bovin VL40	-7%	-23%	-12%	+5%	+10%	+0%	+4%
	Aliment bovin VL18	-12%	-21%	-11%	+5%	-5%	-7%	+1%
	Aliment bovin JB27	-20%	-11%	-11%	-8%	-13%	-14%	+2%

Code couleurs :

	↑ prix ou impact <5%		↓ entre 5% et 10%
	↑ prix ou impact supérieure à 5%		↓ entre 10% et 20%
	↓ nulle ou inférieure à 5%		↓ supérieure à 20%

La prise en compte de critères environnementaux dans la formulation engendre un attrait pour certaines matières premières, et la sortie d'autres.

MP ayant tendance à sortir des écoalimentations :

- Le tourteau de soja brésilien issu de zones déforestées joue un rôle important dans l'impact GES des aliments du poulet de chair et les aliments bovins car il est présent dans les aliments et fait partie des matières premières ayant un fort impact sur la changement climatique. Cette matière première n'a pas été intégrée dans les aliments porcs, même dans les aliments optimisés sur le prix : ce résultat est lié aux contextes économiques au moment du cas d'étude qui a rendu plus intéressantes d'autres sources de protéines (tourteau de colza notamment). Dans la majorité des cas, du soja est tout de même utilisé dans les aliments « porc ».

MP ayant tendance à entrer dans les écoalimentations :

- L'apport de protéines par le tourteau de colza peut également permettre de réduire l'empreinte carbone de l'aliment, mais peut accentuer l'impact de l'aliment sur l'acidification et l'eutrophisation par rapport au témoin riche en soja ;
- Les coproduits de meunerie et du pain sont des MP à faible impact environnemental ;
- L'optimisation environnementale fait apparaître l'intérêt de la féverole, du pois et du sorgho, mais leur prix et leur disponibilité sont actuellement limitants ;
- La recherche d'une réduction de la Consommation de P et de l'Utilisation des Terres introduit un maximum de coproduits dans les compositions d'aliments.

6.6. Impacts des ECOALIMENTS à l'échelle des produits animaux pour les élevages types

La Figure 26 présente les stratégies d'alimentation innovantes qui ont été testées à l'échelle de l'élevage pour évaluer les impacts environnementaux des produits animaux. Seules les stratégies avec des écoaliments obtenus par optimisation multicritère ont été retenues, pour deux contextes de disponibilité en matières premières (limité et débridé), et pour différentes incidences sur les performances des animaux (pas d'incidence, amélioration des performances et dégradation des performances avec des options différentes par filière animale).

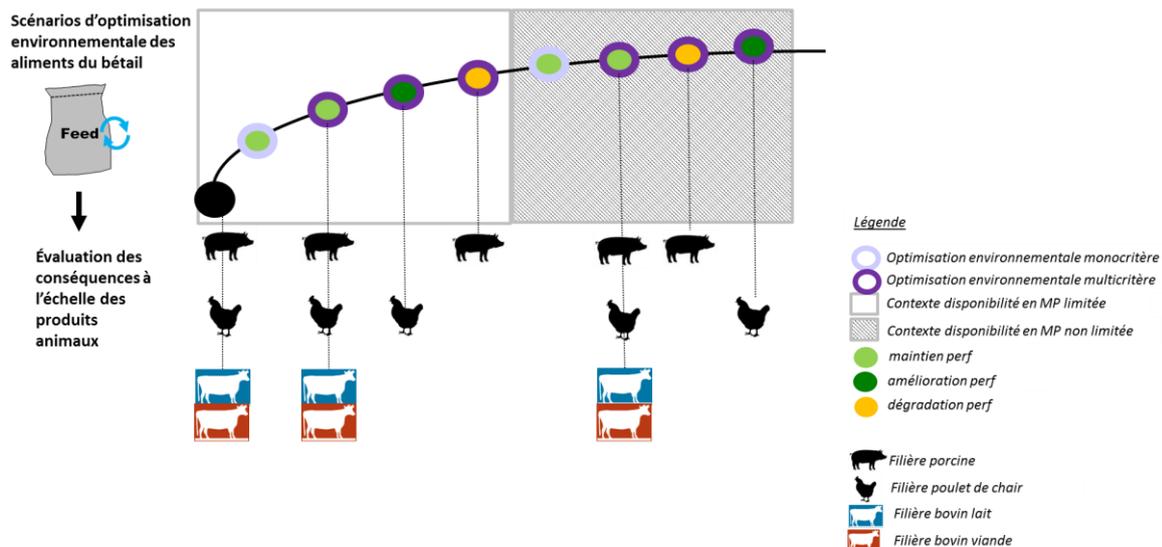


Figure 26 : Synthèse des stratégies d'alimentation innovantes testés à l'échelle des élevages

6.6.1. Elevage porcin

Impacts environnementaux

Pour le porc, étant donné que plusieurs stratégies d'alimentation ont été testées, la Figure 27 commence par positionner les scénarios alimentaires raisonnés sur le prix, pour chacune de ces stratégies, par rapport à la référence choisie qui est la stratégie biphasé raisonné sur le prix en condition de disponibilité limitée en matières premières.

Ceci montre que des différences significatives sont déjà observées entre ces différentes stratégies d'alimentation, avec des impacts du kilogramme de porc pouvant être jusqu'à 13% plus élevés (cas de l'impact occupation du sol de la stratégie d'alimentation biphasé avec réduction des performances des animaux basées sur une réduction du contenu énergétique), ou jusqu'à 10% plus faibles (cas de l'impact acidification de la stratégie d'alimentation multiphasé avec 4 aliments).

Ceci est du au fait que les stratégies jouent sur les performances des animaux et les niveaux d'excrétion azotée des animaux.

- Lorsqu'une stratégie engendre une dégradation des performances des animaux, les indices de consommation sont augmentés. Les animaux consomment plus d'aliments pour la même prise de poids et excrètent plus d'azote et de matière organique. Les émissions gazeuses liées à la gestion des effluents sont donc augmentées.
- Lorsqu'une stratégie d'alimentation permet de réduire les quantités de matières azotées ingérées par les porc. Cela entraîne des excréments moins élevés en azote et donc une réduction des émissions gazeuses lors de la gestion des effluents.

Ces premiers résultats montrent le rôle des stratégies d'alimentation sur les impacts environnementaux situés en aval au niveau des élevages. C'est dans cette perspective qu'elles sont habituellement raisonnées.

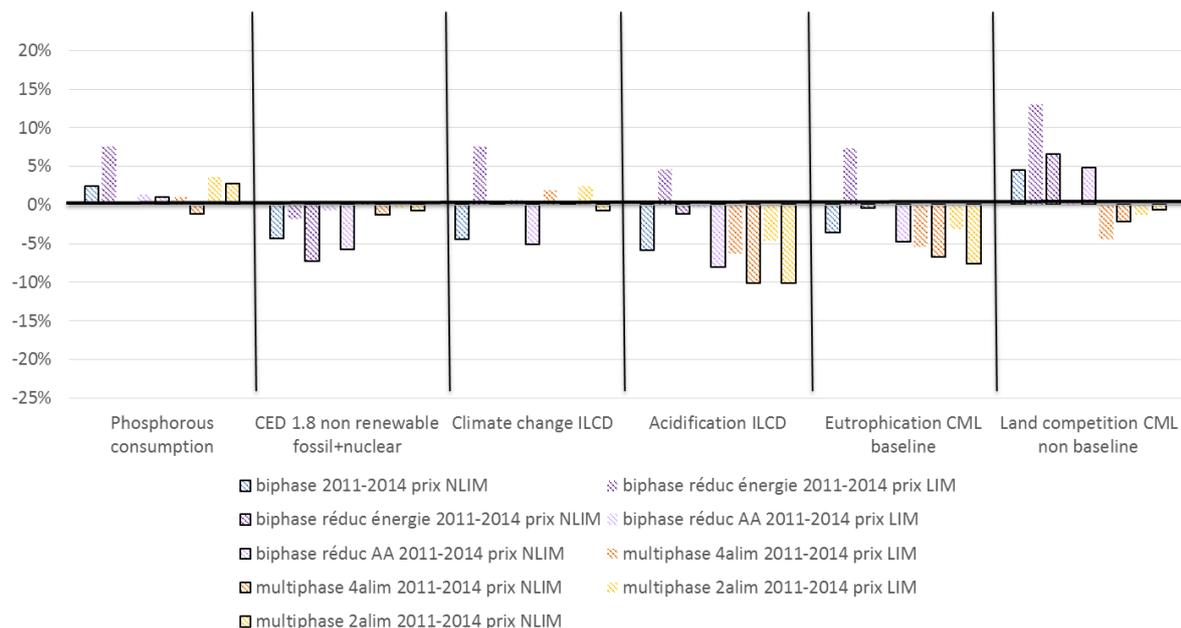


Figure 27 : Impacts environnementaux relatifs des kilogrammes de porc des différentes stratégies d'alimentation optimisées sur le prix, en contexte limité et assoupli en termes de disponibilité en matières premières, avec une comparaison à la stratégie de référence (biphase prix LIM)

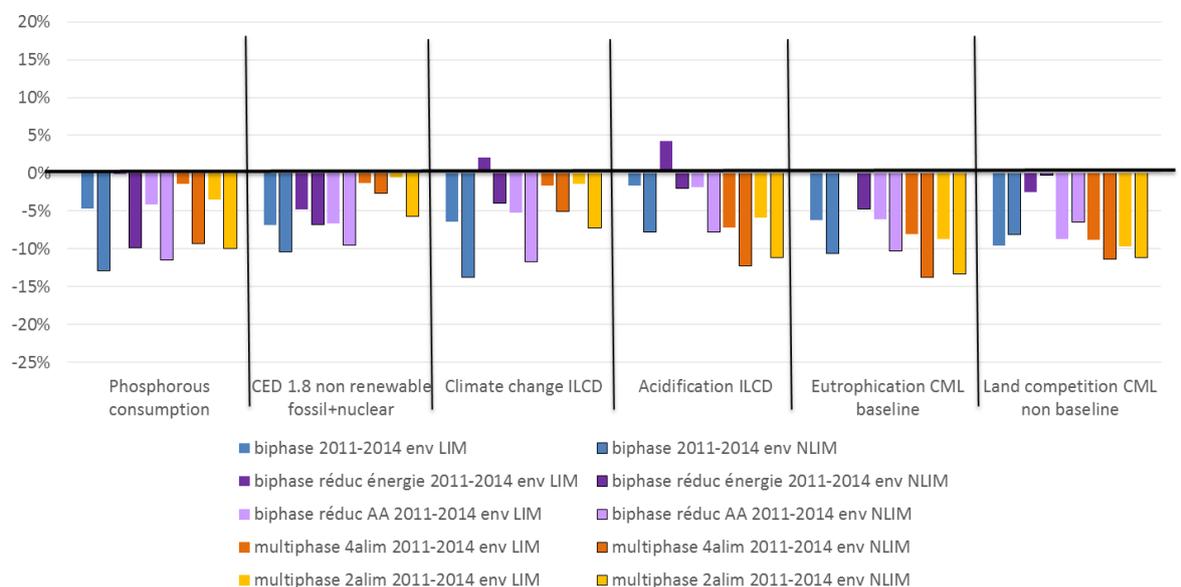


Figure 28 : Impacts environnementaux relatifs des kilogrammes de porc des différentes stratégies d'alimentation, en contexte LIM et NLIM en comparaison avec la stratégie de référence (biphase prix LIM)

La Figure 28 présente les impacts environnementaux des différentes stratégies d'alimentation testées, avec les aliments optimisés avec la fonction multi-objectif, toujours en comparaison avec la référence stratégie d'alimentation biphase optimisée sur le prix.

Les réductions d'impacts sont presque systématiques et vont jusqu'à -10% en contexte limité (cas de l'impact occupation du sol de la stratégie biphasé), et jusqu'à -14% en contexte assoupli (cas de l'impact changement climatique de la stratégie biphasé).

Pour les impacts de la fonction multi-objectif, les réductions à l'échelle du kilogramme de porc sont moindres que celles obtenues à l'échelle de la tonne d'aliment. Cela s'explique par l'importance du poste « alimentation » dans les impacts du kilogramme de porc (Figure 29) qui représente entre 51% et 98% suivant les impacts et les différentes stratégies d'alimentation évaluées. Par ailleurs, à l'échelle de l'élevage, les aliments engraissement ne sont qu'une partie des aliments de l'élevage auxquels s'ajoutent les aliments truies et post-sevrage.

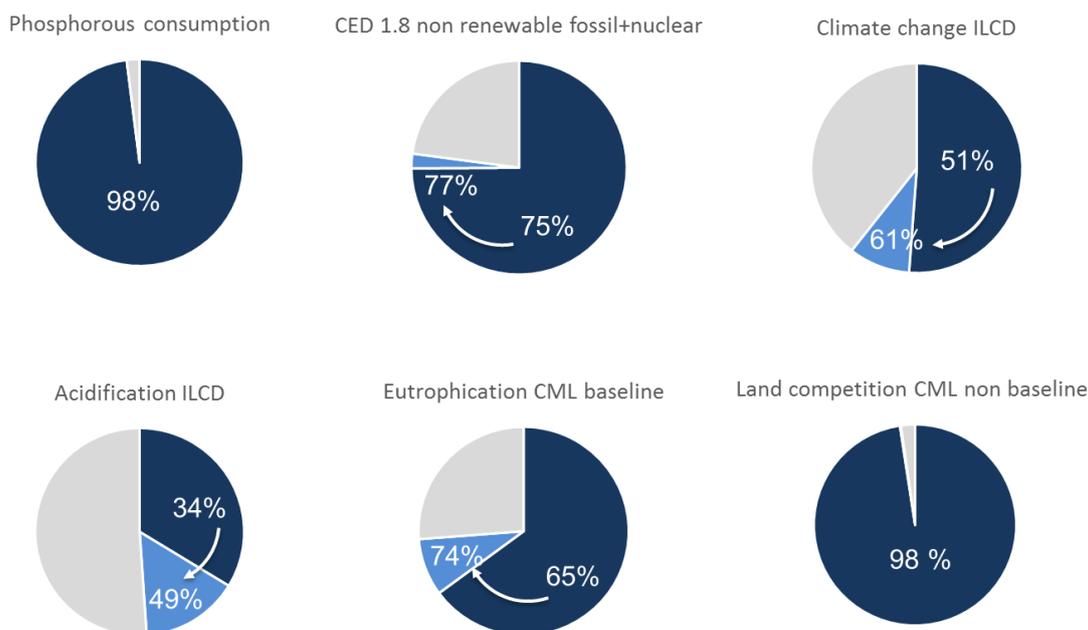


Figure 29 : Importance relative du poste Alimentation dans les impacts environnementaux des kilogrammes de porc

Certains impacts des stratégies optimisées en multi-objectif à l'échelle du kilogramme de porc (Figure 28) sont augmentés comme la consommation d'énergie de la stratégie d'alimentation multiphase 4 aliments et les impacts changement climatique et acidification de la stratégie biphasé avec réduction des teneurs en énergie en contexte de disponibilité limitée en matières premières. Pour autant des réductions d'impact avaient été observées à l'échelle de la tonne d'aliments en engraissement. Pour l'impact acidification, des réductions entre 8% et 13% s'observent mais sont peu liées à l'optimisation environnementale de la formulation et davantage au changement de type de stratégie alimentaire. En effet, la stratégie d'alimentation multiphase 4 aliments optimisée sur le prix montre déjà une réduction d'impact de 10% par rapport à la référence.

Ces écarts de comportement entre l'échelle de la tonne d'aliment moyen et l'échelle du kilogramme de porc, s'explique par la valorisation des stratégies d'alimentation des porcs en termes de performances environnementales et de rejets azotés (Figure 30). Cette valorisation s'avère peu impactée par l'optimisation multiobjectif des aliments car des dynamiques très similaires s'observent entre les scénarios optimisés sur le prix et en multiobjectif. Les stratégies d'alimentation multiphase engendrent une réduction des rejets azotés d'environ 11% par rapport à la stratégie d'alimentation biphasé. Les teneurs en MAT des aliments sont réduites de 14% mais une partie du bénéfice est perdue du fait d'une légère dégradation des performances des animaux (+ 5% de l'IC en engraissement) avec les stratégies d'alimentation multiphase. Cette dégradation des performances s'explique par le fait que les séquences

alimentaires multiphase ont été calées sur le besoin de la femelle moyenne (100% du besoin de l'animal moyen). Cela signifie qu'à chaque changement de phase on a environ 50% des porcs qui reçoivent un peu moins que leurs besoins : leur indice est donc un peu dégradé. C'est donc lié à l'interaction entre la composition des aliments et la stratégie d'alimentation multiphase avec changement fréquent d'aliments, car si la même pratique de calage des séquences alimentaires est faite en biphasé, on n'a pas de dégradation d'indice. Pour limiter ce problème, il aurait plutôt fallu formuler des aliments à 110% du besoin de l'animal moyen mais on aurait moins réduit l'excrétion azotée. Or, la moindre excrétion azotée permet de réduire l'impact acidification en limitant les pertes sous forme d'ammoniac au niveau de l'élevage.

Les deux stratégies avec dégradation de la qualité nutritionnelle des aliments, réduction des teneurs en énergie et réduction des teneurs en acides aminés, se comportent différemment :

- La stratégie biphasé avec réduction des teneurs en énergie des aliments engendre une augmentation de l'indice de consommation. Ceci va jouer sur l'ensemble des impacts car plus d'aliments vont être consommés pour la même quantité de porc produit. Cette dégradation des performances va augmenter par ailleurs l'excrétion azotée et expliquer l'augmentation de l'impact acidification (Figure 28).
- La stratégie biphasé avec réduction des teneurs en acides aminés a dégradé plus modérément les performances techniques (+3% de l'IC en engraissement), tout en ayant permis une légère réduction des teneurs en MAT des aliments (-4% de MAT sur les aliments en engraissement) : il en résulte une excrétion azotée très proche de la stratégie biphasé classique, ce qui explique un comportement assez proche en terme d'impacts à l'échelle du kilogramme de porc (Figure 28).

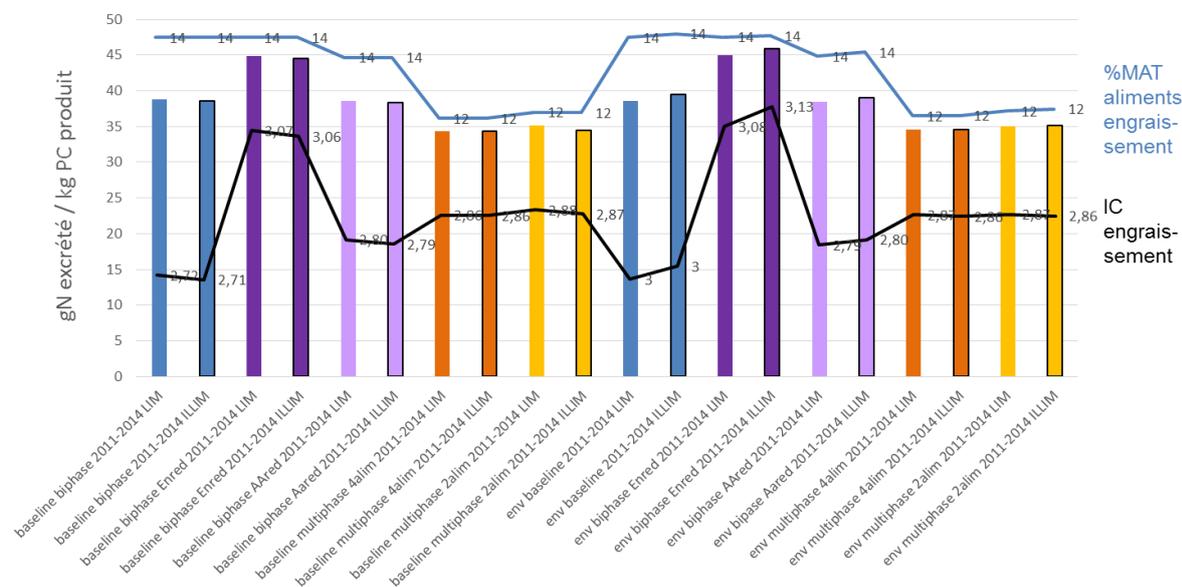


Figure 30 : Excrétions azotées de l'élevage, MAT des aliments en engraissement et indice de consommation des porcs en engraissement pour les différentes stratégies d'alimentation appliquée à l'élevage.

Pour isoler l'effet du choix de stratégie d'alimentation de l'effet de l'optimisation multiobjectif des aliments, la Figure 31 met en évidence uniquement l'effet de l'optimisation à l'échelle du kilogramme de porc.

Quatre des impacts sont plus réduits que les autres grâce à l'optimisation environnementale de la formulation : la consommation de phosphore, le changement climatique, l'occupation des terres et l'eutrophisation (les trois premiers sont dans l'équation multi-objectif). Pour l'impact

consommation d'énergie, cela dépend des scénarios d'alimentation. Les stratégies d'alimentation multiphase permettent peu de réduire l'impact consommation d'énergie du fait des matières premières choisies pour la formulation des aliments. Il en est de même pour la stratégie biphasée avec réduction des teneurs en énergie des aliments qui perd le bénéfice obtenu à la tonne d'aliment en raison de la dégradation des performances des animaux. L'impact acidification bénéficie peu de l'optimisation multicritère à l'échelle du kilogramme de porc. Cet impact n'est pas dans la fonction multiobjectif et l'alimentation (qui explique entre 34% et 49% de l'impact acidification à l'échelle du kilogramme de porc) n'est pas le poste le plus important : il s'agit pour cet impact de l'étape élevage avec la gestion des animaux et des effluents.

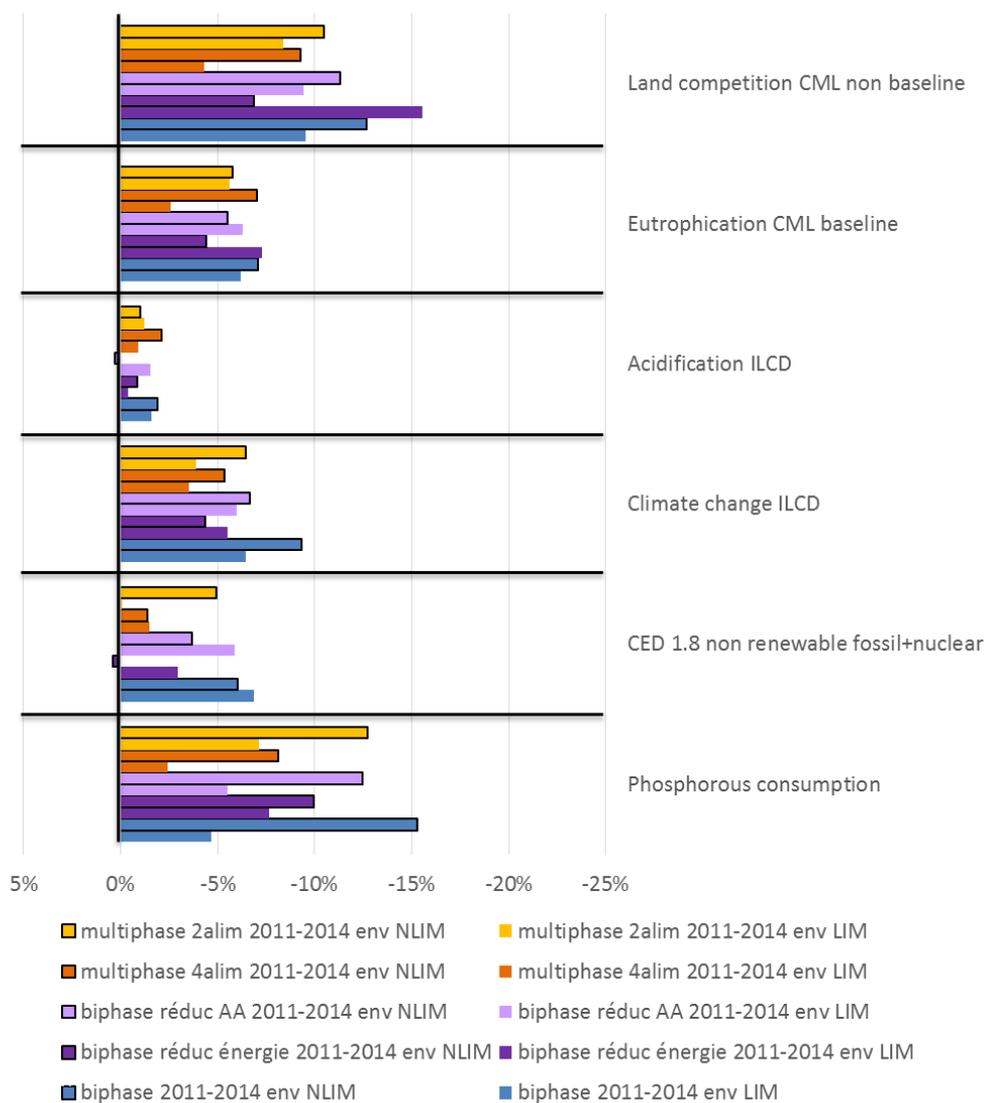


Figure 31 : Réduction des impacts environnementaux des kilogrammes de porc permise par l'optimisation environnementale de la formulation, en comparaison de la stratégie d'alimentation biphasée optimisée sur le prix.

Coûts

En termes de coûts, les différentes stratégies d'alimentation, comparées à la stratégie de référence (biphase prix LIM), représentent toutes une perte de marge qui va de 0.5 à 4.2 €/porc

produit, ce qui représente respectivement une perte de 1 à 9% de la marge annuelle de l'élevage porcin de référence (Figure 32).

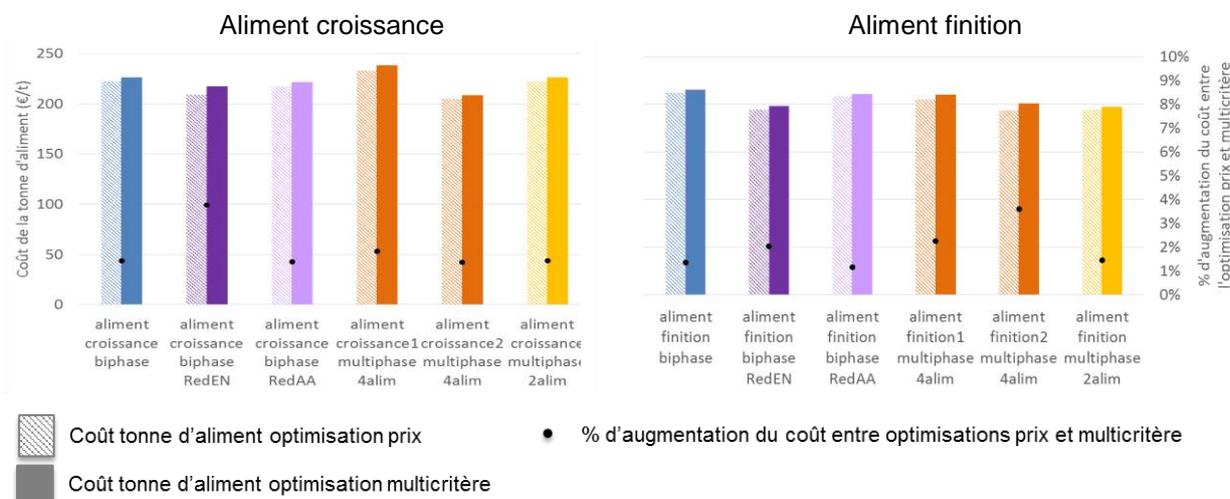


Figure 32 : Comparaison du coût des tonnes d'aliments unitaires engraissement entre stratégies alimentaires (sans prise en compte des quantités consommées par l'élevage)

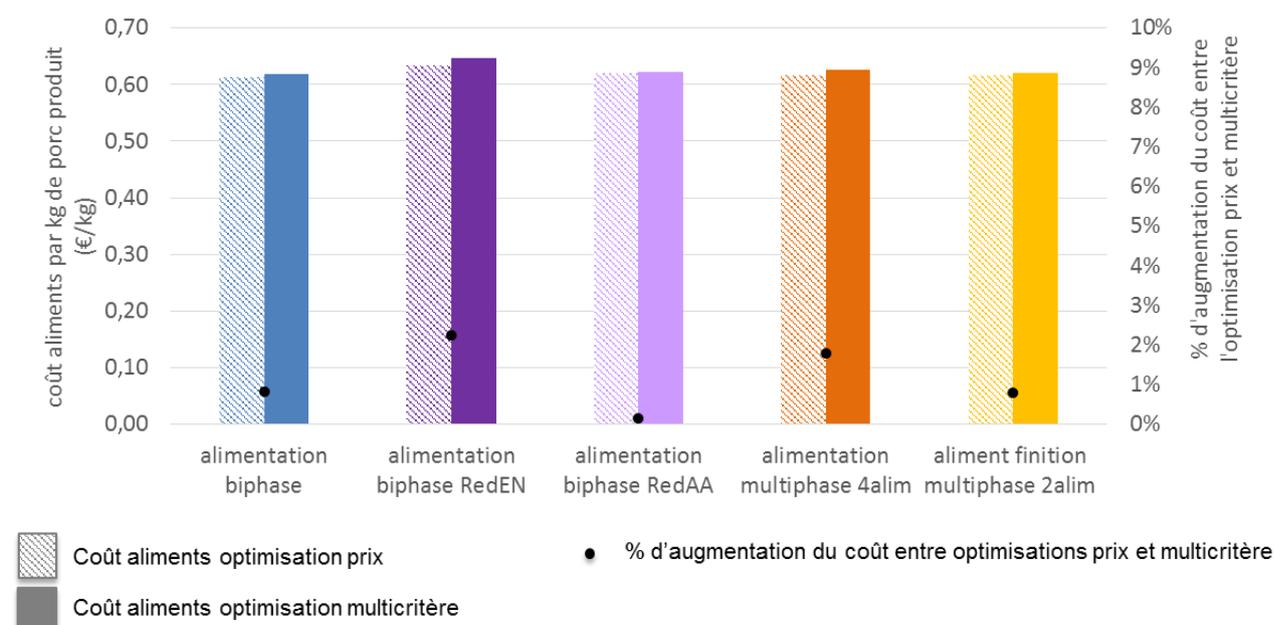


Figure 33 : Coût des aliments de l'élevage ramené au kilogramme de porc produit

Le surcoût est lié :

- A la dégradation des indices de consommation en engraissement. En dehors de la stratégie biphase avec optimisation multicritère, ces derniers sont systématiquement augmentés dans toutes les autres stratégies par rapport à la stratégie de référence (biphase prix LIM), parfois fortement (plus de 12% dans la stratégie biphase RedEN). Cette augmentation d'indice revient à consommer plus d'aliments par porc pour le même gain de poids. Même si de nombreux aliments coûtent moins chers à la tonne que dans la stratégie de référence (Figure 32), le fait d'en consommer plus revient plus cher in fine à l'échelle de l'élevage.
- A une quantité de kilogrammes de porc produite plus réduite dans certains scénarios, les stratégies d'alimentation n'ayant pas permis de produire des porcs de même poids que dans le scénario de référence (c'est le cas des stratégies d'alimentation multiphase).

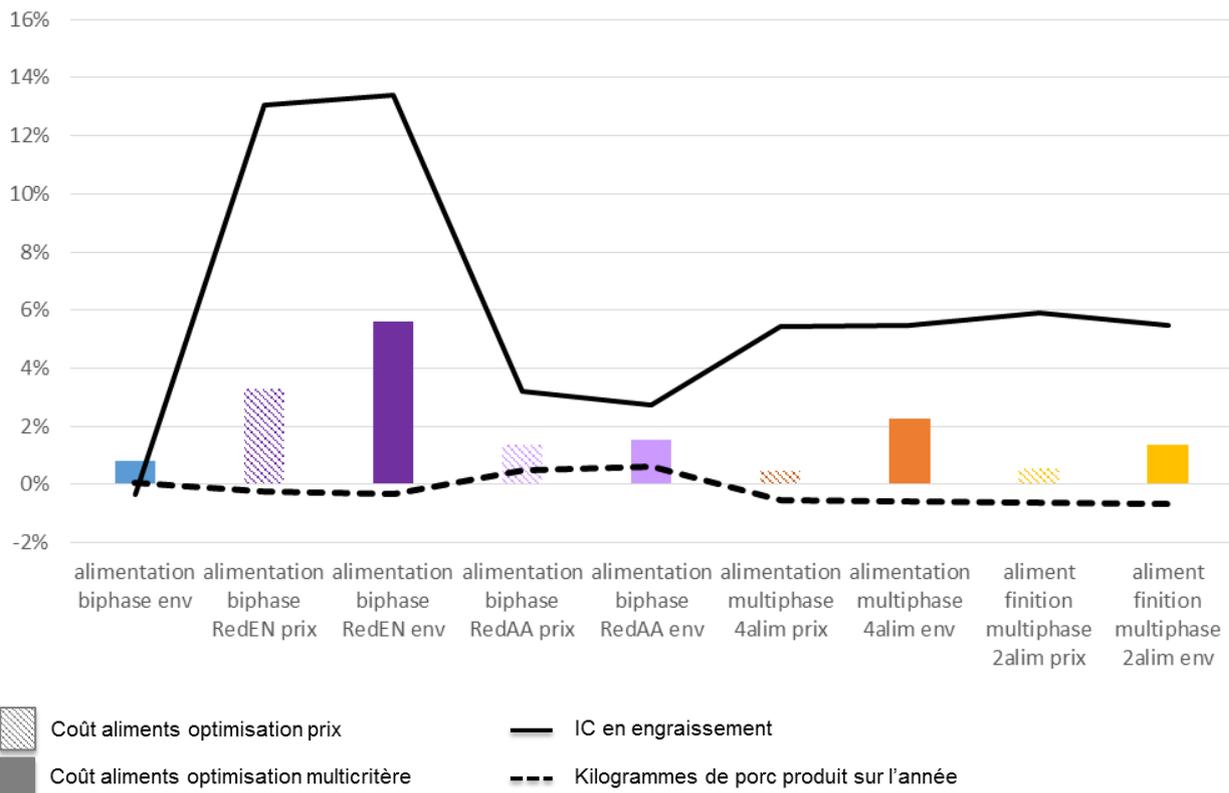


Figure 34 : Positionnement relatif du coût des aliments raménés au kilogramme de porc produit en comparaison de la stratégie de référence (biphase prix LIM)

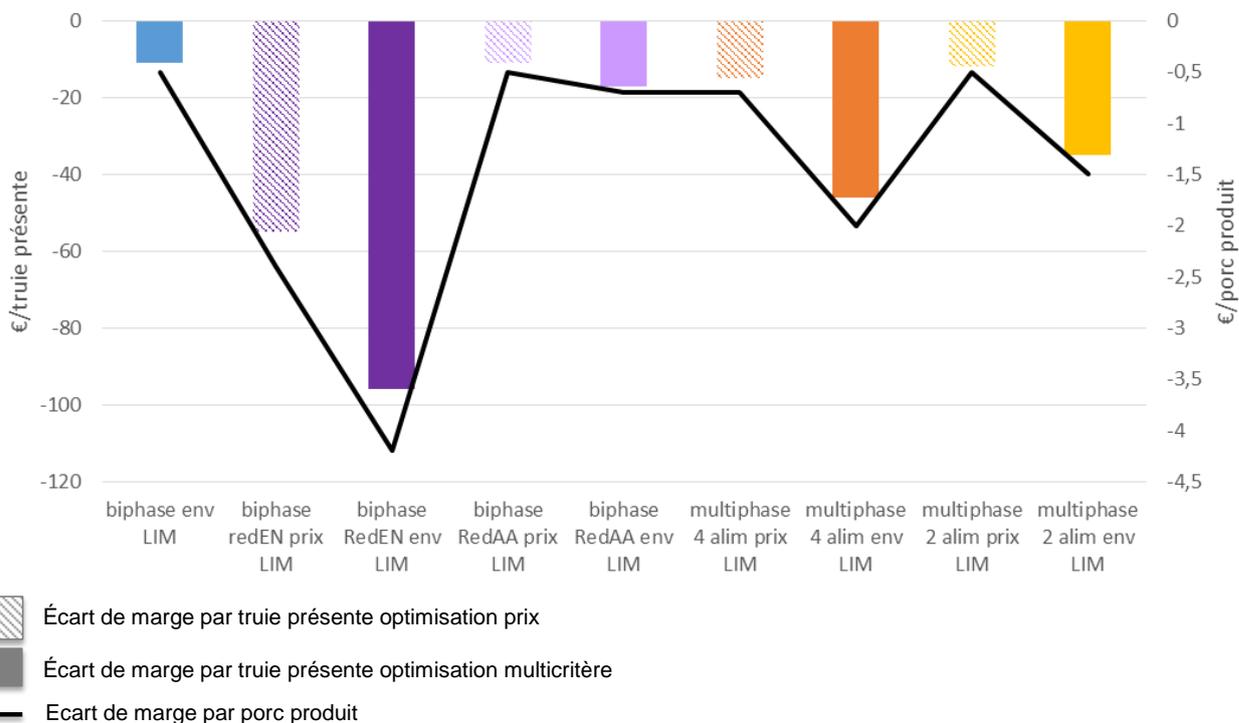


Figure 35 : Ecart de marge de l'élevage de porc entre les différentes stratégies d'alimentation et la stratégie de référence (biphase prix LIM)

6.6.2. Elevage poulet de chair

6.6.2.1. FORMULER DES ECOALIMENTS SANS MODIFIER LES PERFORMANCES

La réduction des impacts à l'échelle de l'aliment, via les écoaliments permet de réduire les impacts à l'échelle du produit, pour les impacts consommation de phosphore, consommation d'énergie, changement climatique, acidification et eutrophisation avec des réductions allant de -2% à -14%. Par contre, l'impact occupation des terres est augmenté de 4% (Figure 36).

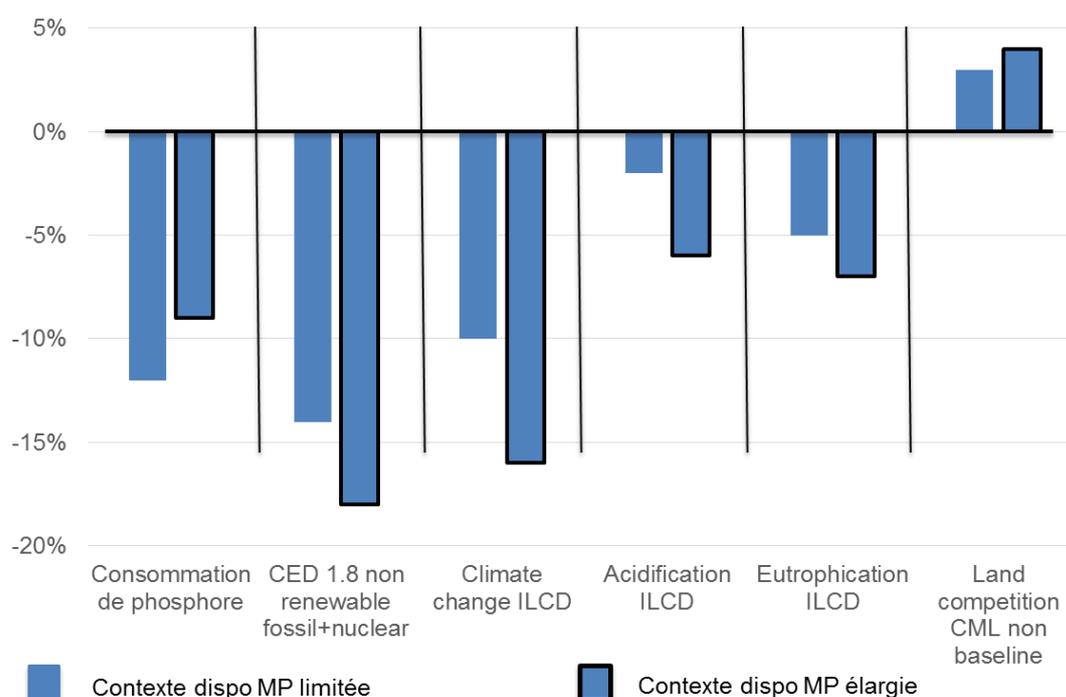
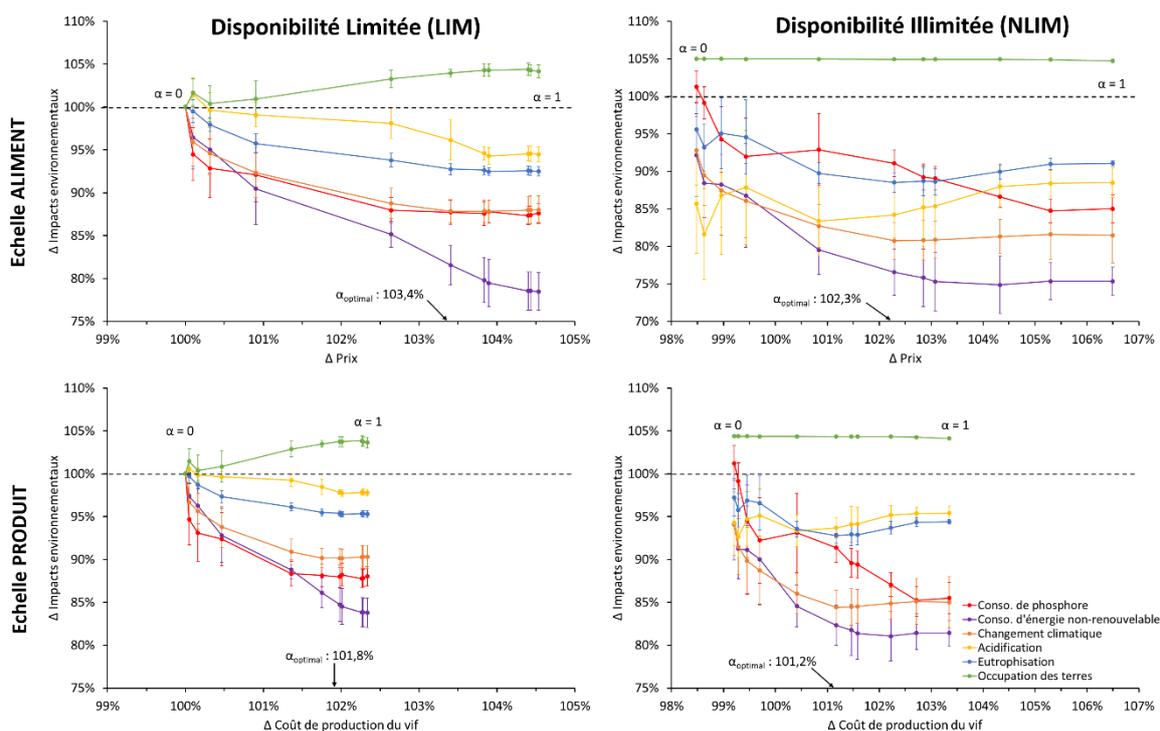


Figure 36 : Impacts environnementaux du kilogramme de poulet pour la stratégie d'alimentation optimisée en multicritère en comparaison de la stratégie de référence optimisée sur le prix

L'augmentation du coût de production à l'échelle du poulet (coût de production du vif) est de l'ordre de 2% quelque soit le contexte de disponibilité des matières premières.

Ces résultats sont la résultante de la recherche d'un α optimal lors de l'optimisation multicritère des aliments. La Figure 37 présente l'évolution respectivement de la réduction des impacts environnementaux et de l'augmentation de coût pour les différentes valeurs de α .

Comme attendu la réduction des impacts à l'échelle de l'aliment permet de réduire les impacts à l'échelle du produit. Lorsque les performances des animaux ne sont pas modifiées, le compromis optimal entre économie et environnement représenté par le α optimal identifié lors de la FMO demeure le même à l'échelle du produit, mais les réductions ou augmentations de prix ou d'impacts sont « atténuées » car le poste « Alimentation » n'est pas l'unique contributeur aux impacts à l'échelle du produit ou au coût de production (autres postes : effluent, production des poussins, construction et fonctionnement du bâtiment...). En outre, conformément aux résultats de Dusart et al. (2017), le potentiel de réduction des impacts est plus important avec une disponibilité non limitée des MP (NLIM).



Les barres d'erreur représentent la variabilité observée en fonction des contextes économiques étudiés

Figure 37 : Variations conjointes des impacts environnementaux à l'échelle de l'aliment et du produit (tonne de poulet vif en sortie d'élevage) en fonction de la variation de prix de l'aliment ou du coût de production pour un contexte de disponibilité limitée (LIM) ou non limitée (NLIM) en matières premières.

Les relations entre les variations des indicateurs environnementaux et économiques à l'échelle de l'aliment moyen, et celle à l'échelle de la tonne de poulet vif en sortie d'élevage sont toutes linéaires (Tableau 31). La linéarité des relations peut s'expliquer par l'absence de variations de performances zootechniques ou de rejets des animaux, en lien avec des caractéristiques nutritionnelles des aliments identiques dans tous les scenarii. Cependant, les valeurs des pentes ne sont pas identiques pour l'ensemble des indicateurs considérés. Elles correspondent à la contribution moyenne de l'aliment pour chaque indicateur considéré. On notera par ailleurs, que pour l'impact « Acidification », la contribution de l'aliment est plus faible que pour les autres indicateurs car les émissions d'ammoniac des effluents contribuent également de façon importante à l'impact final (40% environ).

Tableau 31 : Relations entre les variations des indicateurs économiques ou environnementaux à l'échelle de l'aliment (ΔX) et du produit (ΔY) (régressions linéaires réalisées avec $N=120$).

Indicateur	Echelle aliment (X)	Echelle produit (Y)	Relation
économique	Prix	Coût de production	$\Delta Y = 0,51 \Delta X$
environnemental	Consommation de phosphore		$\Delta Y = 0,97 \Delta X$
	Occupation des terres		$\Delta Y = 0,87 \Delta X$
	Changement climatique		$\Delta Y = 0,81 \Delta X$
	Consommation d'énergie non-renouvelable		$\Delta Y = 0,75 \Delta X$
	Eutrophisation		$\Delta Y = 0,63 \Delta X$

La formulation multiobjectif s'avère un outil efficace pour réduire les impacts environnementaux de la production avicole. En effet, lorsque les caractéristiques nutritionnelles ne sont pas modifiées (*i.e.* sans conséquences pour les performances des animaux), le potentiel de réduction des impacts environnementaux à l'échelle du produit final est facilement accessible au formulateur. De façon réciproque, il devient alors possible de connaître l'objectif de réduction nécessaire à l'échelle de l'aliment pour satisfaire un objectif fixé à l'échelle du produit (par ex. cahier des charges de production). Ainsi, pour obtenir à l'échelle du produit une réduction de 20% de l'impact « Changement climatique », il faudra formuler un « éco-aliment » avec un impact réduit de 25% environ (*i.e.* 20%/0,81).

6.6.2.2. FORMULER DES ECOALIMENTS EN AMELIORANT LES PERFORMANCES

Sur la base de simulations de performances reposant sur des données de terrain (communications d'experts), les hypothèses suivantes peuvent être formulées : en réduisant la teneur en énergie (-50kcal/kg) et en augmentant les teneurs en acides aminés (+0.15 point de lysine, autres acides aminés équilibrés) sur l'ensemble de la gamme alimentaire (démarrage, croissance, finition), les performances des poulets (IC, GMQ et rendement filet) peuvent être améliorées. Une telle stratégie permettrait d'abattre des animaux de 1,83 kg à 34 jours pour un IC = 1,65.

En formulation à moindre coût, l'intérêt économique a pu être validé pour plusieurs contextes économiques contrastés (le prix de l'aliment augmente mais le coût de production du poulet est amélioré).

Qu'en est-il sur le plan environnemental ?

Notations :Disponibilité MP	LIM : panier « actuel » de MP	NLIM : panier élargi de MP
Contraintes nutritionnelles	REF : référence	EM-AA+ : -50kcal/kg EM +0,15 point lysine
Fonction objectif	MinPrix : moindre coût	MinMO : multiobjectif, résultats pour α_{opt}

La modification des contraintes nutritionnelles conduit à une formule plus riche en protéines (+1 à 2 points) et plus coûteuse (+5 %). Mise à part une augmentation de l'impact potentiel consommation de phosphore (+13 %), l'aliment MinPrix_LIM_EM-AA+ présente des impacts environnementaux équivalents à l'aliment MinPrix_LIM_REF. Au niveau du produit, l'investissement dans l'aliment EM-AA+ permet une amélioration des performances entraînant une réduction du coût de production (-1 %) et de l'impact potentiel utilisation d'énergie non renouvelable (-6 %). Néanmoins, l'augmentation de la consommation de phosphore au niveau de l'aliment se retrouve dans une moindre mesure au niveau du produit (+8 %).

Dans ce contexte, la formulation multiobjectif peut-elle permettre de réduire conjointement le coût de production et les impacts environnementaux ?

Tableau 32 : Amélioration/dégradation des critères économique et environnementaux à l'échelle du produit en fonction de la stratégie alimentaire (REF : référence, EM-AA+ : améliorée), du contexte de disponibilité des matières premières (LIM, NLIM) et de la méthode de formulation (MinPrix, MinMO)

	LIM	LIM	LIM	LIM	NLIM	NLIM	NLIM	NLIM
--	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------

	MinPrix	MinMO	MinPrix	MinMO	MinPrix	MinMO	MinPrix	MinMO
	REF	REF	AA+EM-	AA+EM-	REF	REF	AA+EM-	AA+EM-
P	0%	-13%	8%	-10%	4%	-10%	3%	-18%
EN	0%	-13%	-6%	-15%	-13%	-19%	-12%	-17%
CC	0%	-11%	-3%	-13%	-11%	-17%	-8%	-20%
AC	0%	0%	4%	1%	-9%	-7%	2%	-1%
EU	0%	-4%	-1%	-5%	-6%	-8%	-1%	-3%
OT	0%	4%	0%	0%	4%	4%	10%	9%
Coût Prod	0%	2%	-1%	1%	-1%	1%	-1%	1%

Quel que soit le contexte, la formulation MinMO permet, par rapport à la formulation MinPrix, une amélioration des impacts consommation de phosphore, utilisation d'énergie non renouvelable et changement climatique en contrepartie d'une augmentation du coût de production (environ 2 %).

Dans le contexte de disponibilité « actuelle » des matières premières (LIM), combiner formulation MinMO et stratégie alimentaire EM-AA+, permet de réduire les impacts environnementaux de façon équivalente à la seule utilisation de la formulation MinMo tout en limitant à 1 % l'augmentation du coût de production. Cela suppose cependant d'accepter d'investir au niveau de l'aliment (Prix +8 %) afin d'en faire bénéficier l'ensemble de la filière.

6.6.3. Elevages laitier et allaitant

La Figure 38 fournit les réductions d'impact obtenues pour le lait des cas d'étude Pays de la Loire et Nord Pas de Calais.

Dans un contexte de disponibilité en MP limitée, pour le cas d'étude Pays de la Loire qui utilise comme aliment composé un VL18, les réductions sont minimales : de -0.2% pour le changement climatique à -1.2% pour les consommations d'énergie non renouvelable. Les réductions sont plus importantes avec le cas d'étude Nord Pas de Calais qui remplace ses aliments composés VL18 et VL40 témoins par les Ecoaliments formulés. Les consommations d'énergies non renouvelables sont ainsi réduites de 9.2%. Par contre, l'Acidification potentielle augmente très légèrement, de +0.3%, en raison de l'augmentation de l'impact des écoaliments VL18 et VL40, tous deux de +5%.

Ces réductions limitées sont logiques car les aliments composés représentent une faible part de l'impact environnemental des produits animaux bovins, contrairement aux filières granivores.

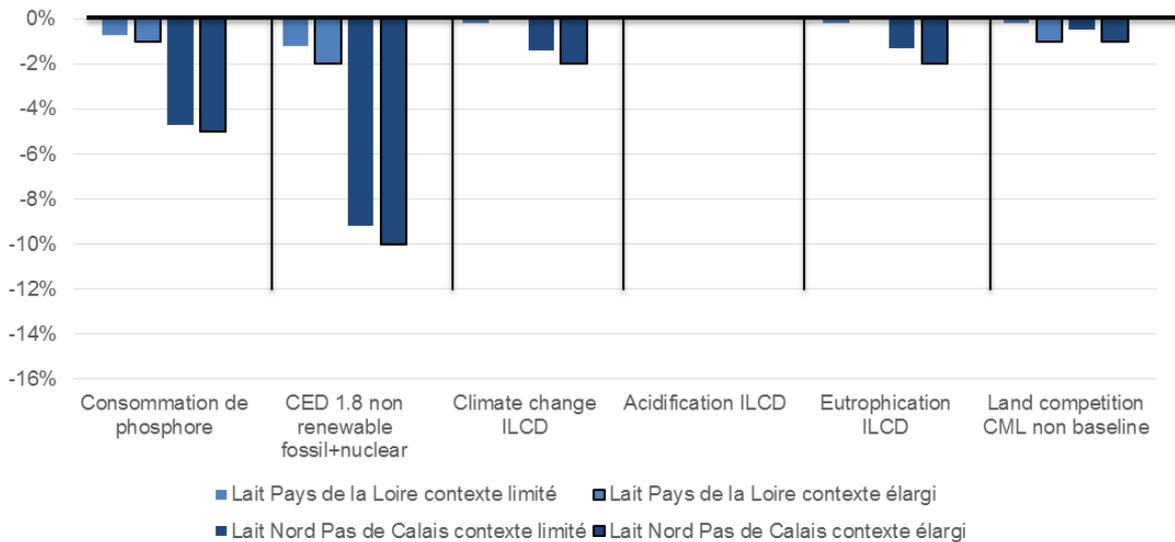


Figure 38 : Impacts environnementaux du kilogramme de lait pour la stratégie d'alimentation optimisée en multicritère en comparaison de la stratégie de référence optimisée sur le prix pour deux élevages types

Dans le cas d'étude Engraissement de jeunes bovins (Figure 39), bien que la part d'aliments composés atteigne près de 20% de la ration, les réductions d'impacts permises restent modestes : de -0.2% pour l'utilisation des terres à -5.2% au mieux pour les consommations d'énergie non renouvelables.

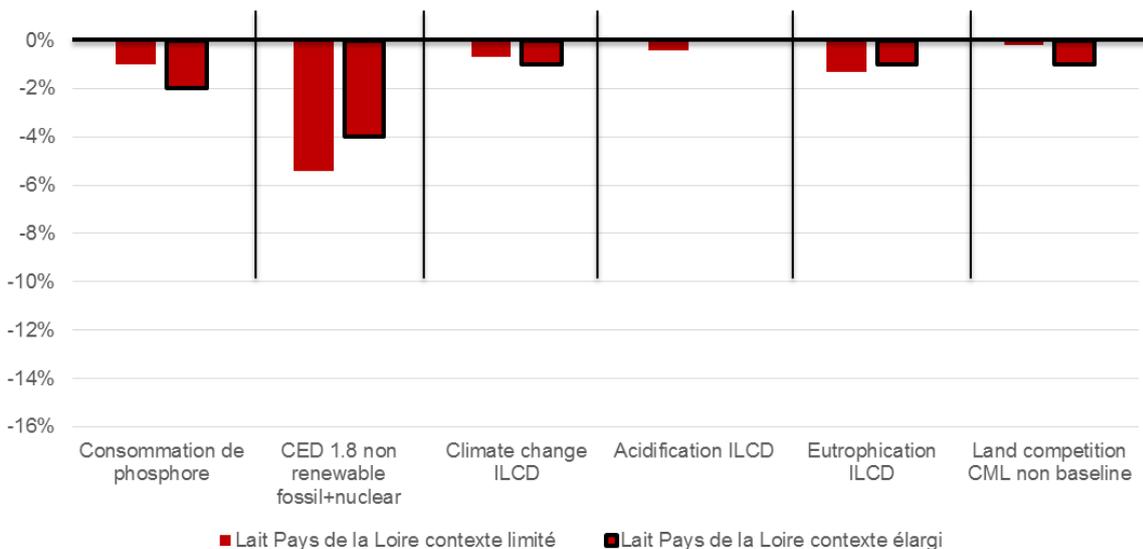


Figure 39 : Impacts environnementaux du kilogramme de viande pour la stratégie d'alimentation optimisée en multicritère en comparaison de la stratégie de référence optimisée sur le prix pour un élevage type JB Grand Est

Pour le contexte de disponibilité élargie, les effets sur les impacts environnementaux du lait et de la viande ne sont pas plus marqués qu'avec les aliments obtenus en contexte de disponibilité limitée : de -0.2% à -2% en fonction des impacts pour le lait de Pays de la Loire (contre -0.2% à -1.2%), de +0.1% à -10.1% pour le lait du Nord Pas de Calais (contre +0.3% à -9.2%) et de -0.5% à -3.6% pour la viande de jeunes bovins (contre -0.2% à -5.2%).



Synthèse des résultats sur l'amélioration des impacts environnementaux des produits animaux via l'optimisation environnementale de la formulation des aliments du bétails

Lorsque l'on utilise les écoaliments dans des élevages de porcs et de volaille, on constate des réductions d'impacts à l'échelle des produits animaux, avec une moindre amplitude qu'à l'échelle des aliments, ce qui s'explique par le fait que d'autres sources d'impacts environnementaux hors alimentation sont comptabilisés dans les impacts du produit final.

La diminution de bénéfice est la plus restreinte en volaille où l'alimentation avec des aliments composés représente une plus grande part que dans les autres productions.

Pour les différentes filières animales, le potentiel de réduction des impacts en sortie de ferme par la formulation multi-objectif est plus important en contexte NLIM qu'en contexte LIM, en comparant à un scénario de référence qui est optimisé sur le prix dans un contexte de disponibilité limitée en matières premières. Ceci est en accord avec ce qui a été observé à l'échelle de l'aliment.

Tableau 33 : Matrice des réductions des impacts environnementaux des produits animaux au portail de la ferme avec une utilisation des écoaliments composés, en utilisant la fonction multi objectif pour un contexte de disponibilité en MP limitée

Incidence sur les impacts environnementaux et le prix en comparaison des situations de référence (aliments formulés à moindre coûts, avec la stratégie biphasé pour le porc)	Consommation de P	Consommation d'énergie	Changement climatique	Acidification	Eutrophisation	Occupation des terres	Marge en porc et coût de production en volaille
Porc stratégie biphasé	-4%	-7%	-7%	-2%	-6%	-9%	-1%
Porc stratégie biphasé EG-	0%	-5%	+2%	+4%	0%	-2%	-9%
Porc stratégie biphasé AA-	-4%	-6%	-5%	-2%	-6%	-8%	-1%
Porc multiphasé 2 aliments	-3%	-1%	-2%	-6%	-9%	-10%	-3%
Porc multiphasé 4 aliments	-2%	-2%	-2%	-7%	-8%	-9%	-4%
Poulet de chair	-13%	-13%	-11%	-2%	-4%	+4%	+2%
Poulet de chair AA+EM-	-10%	-15%	-13%	+1%	-5%	0%	+1%
Lait de vache	-3%	-4%	0%	0%	0%	0%	
Viande bovine	-1%	-5%	0%	0%	-1%	0%	

Code couleurs :

	↑ prix ou impact < 5%		↓ entre 5% et 10%
	↑ prix ou impact > 5%		↓ entre 10% et 20%
	↓ impact < 5%		↓ supérieure à 20%

En production de poulet de chair, les réductions les plus importantes sont obtenues pour DP, EN et CC. Ces résultats questionnent cependant l'affectation des matières premières à faibles impacts pour les différentes filières de production animale présentes sur un territoire donné. La dilution observée des réductions d'impacts entre l'aliment et le produit animal dépend de la contribution de l'alimentation aux impacts en sortie de ferme. Ainsi, la dilution observée est par exemple plus importante pour l'impact acidification (contribution importante des émissions de NH₃ des effluents) que pour l'impact consommation d'énergie non renouvelable. Enfin, lorsque les performances des animaux ne sont pas modifiées par des modifications des caractéristiques nutritionnelles, il devient alors possible de connaître l'objectif de réduction nécessaire à l'échelle de l'aliment pour satisfaire un objectif fixé à l'échelle du produit (par ex.

dans un cahier des charges de production). Ainsi, en poulet de chair, l'alimentation représente environ 80% de l'impact CC. Aussi, pour obtenir à l'échelle du produit une réduction de 20% de cet impact, il faudra formuler un éco-aliment avec un impact réduit de 25% (i.e. 20%/0,8).

En production porcine, l'utilisation des écoaliments conduit à une réduction d'impacts dans presque tous les scénarios sauf pour la stratégie biphasé avec réduction d'énergie pour les impacts acidification et changement climatique. Trois critères expliquent les résultats contrastés entre stratégies d'alimentation et impacts : (1) la contribution des aliments dans les impacts du porc (de 34% à 98%), (2) l'indice de consommation qui reflète l'efficacité globale du système et influe le niveau d'excrétion et les émissions gazeuses associées, (3) la qualité nutritionnelle des aliments (protéines, acides aminés) qui expliquent le niveau d'excrétion.

En bovins, les écoaliments interviennent sur une faible proportion de la ration des bovins et une faible proportion des impacts du lait et de la viande : leurs effets pour améliorer le bilan environnemental des produits d'élevage sont donc peu importants.

Les meilleures améliorations sont obtenues sur la catégorie d'impact Consommation d'énergie non renouvelable, avec des réductions de l'ordre de 10%. Si ces résultats peuvent paraître décevants, ils ne sont toutefois pas négligeables. En effet, en élevage bovin, les leviers d'action sont nombreux et leurs effets individuels pour diminuer les bilans environnementaux sont relativement faibles : réduction de 1 à 9% de l'empreinte carbone ; tandis que la combinaison d'un ou plusieurs leviers se traduit ainsi par un potentiel de réduction de l'empreinte carbone des produits lait et viande comprise entre 5 et 20% (Dollé et al., 2015).

Les marges de manœuvre permises doivent être envisagées d'avantage à l'échelle des fabricants d'aliments du bétail qu'à l'échelle de la production bovine.

6.7. Mise en œuvre territoriale de l'optimisation environnementale de la formulation

6.7.1. Situation de départ

Au cours des années 2011 à 2014, les tonnages d'aliments composés de la Bretagne sont en moyenne de 8,2 Mt par an avec 48% pour la filière porcine, 24% pour la filière volaille de ponte, 13% pour la filière volaille de ponte et 14% pour la filière bovine (Tableau 34). Les aliments composés produits en Bretagne représentent par ailleurs 67% des aliments du bétail du Grand-Ouest.

Tableau 34 : Tonnage des aliments du bétail en Bretagne de 2011 à 2014.

Milliers de tonnes	TOTAL	PORCIN	VOL CHAIR	VOL PONTE	BOVINS	AUTRES
2011	8401,4	4093,3	2144,1	1019,2	1060,0	84,7
2012	8321,7	4026,3	2077,3	1035,1	1106,2	76,9
2013	8110,8	3881,4	1907,5	1093,9	1156,4	71,7
2014	7918,2	3743,3	1828,6	1112,4	1173,5	60,5
moy annuelle	8188,0	3936,1	1989,4	1065,2	1124,0	73,5
moyenne mens	682,3	328,0	165,8	88,8	93,7	6,1
écart type	32,1	18,6	14,0	5,1	12,9	0,9
coefficient var	4,70%	5,66%	8,45%	5,71%	13,76%	15,40%

La variabilité mensuelle des productions d'aliments composés est particulièrement importante pour les aliments bovins (près de 14%). Celle-ci se caractérise à la fois par des variations de

tonnage total mais aussi par des fortes variations saisonnières de la répartition entre aliments de type VL18 et VL40, ce qui a naturellement des conséquences fortes sur les consommations des diverses matières premières (et en particulier la répartition entre céréales et tourteaux).

Tableau 35 : Pourcentage d'utilisation des matières premières mobilisées dans les aliments composés produits en Bretagne entre filières animale

BRETAGNE	PORCIN	VOL CHAIR	VOL PONTE	BOVINS
Blé + triticale	56%	30%	13%	2%
Maïs	36%	33%	24%	7%
Orge	94%	2%	1%	2%
TT soja	20%	40%	15%	24%
TT colza	64%	1%	0%	36%
Tt tournesol	49%	1%	2%	46%
wheatfeed	55%	0%	0%	50%
Son + remoulage	59%	2%	3%	27%
drèches	20%	35%	27%	18%
Pois	100%	0%	0%	0%
Graines oléagineuses	0%	62%	37%	0%
Huiles	33%	59%	2%	5%
Autres*	40%	13%	21%	20%

*minéraux, urée, acides aminés.

Les aliments composés porcins qui représentent environ 48% du tonnage total utilisent des parts plus élevées de pois, d'orge, de tourteau de colza, de son et remoulage, de blé et de wheatfeed (Tableau 35). Les volailles de chair avec 24% du tonnage total utilisent 62% des graines oléagineuses, 59% des huiles et 40% du tourteau de soja, les volailles de ponte (13% du tonnage) utilisant des parts plus élevées de graines oléagineuses, de drèches et de maïs. Enfin les bovins (14% du tonnage) utilisent des parts importantes de wheatfeed ainsi que de tourteaux de tournesol et de colza.

En ce qui concerne le tourteau de soja, les volailles en utilisent 55% à elles seules et le porc seulement 20%.

Au-delà des tonnages consommés des diverses matières premières ou groupes de matières premières, il est intéressant de souligner certaines différences entre catégories d'aliments composés en terme de taux d'incorporation (Tableau 36).

En aliments porcins, les incorporations de céréales (surtout blé et triticale) atteignent un total de 64% (comme pour les volailles de chair et de ponte) contre seulement 13% en aliments bovins (en raison de la part importante de VL40). Pour l'ensemble des tourteaux la situation est toute différente. Alors que les porcins ont un taux d'incorporation global de seulement 20% (dont moins du tiers de soja), les volailles de chair en incorporent 24% et les volailles de ponte 18%. Le taux pour les bovins atteint 59% (dont près de la moitié de soja). L'incorporation de pois n'est significative qu'en porc et celle de graines oléagineuses et d'huiles ne l'est qu'en volailles.

Tableau 36 : Taux d'incorporation moyens des matières premières dans les aliments composés des différentes filières animales en Bretagne

BRETAGNE	TOTAL	PORCIN	VOL CHAIR	VOL PONTE	BOVINS
Blé + triticale	35%	40,5%	42,7%	35,1%	4,4%
Maïs	15,2%	11,4%	20,5%	28,1%	7,7%
Orge	6,2%	12,3%	0,4%	0,5%	0,9%
TT soja	14,3%	6,1%	23,8%	16,8%	25,0%

TT colza	6,9%	9,1%	0,2%	0,1%	17,9%
Tt tournesol	4,8%	4,9%	0,3%	0,9%	15,9%
wheatfeed	3,2%	3,4%	0,0%	0,1%	10,8%
Son + remoulage	2,3%	2,8%	0,2%	0,6%	4,4%
drèches	2,2%	0,9%	3,2%	4,6%	3,0%
Pois	1,1%	2,3%	0,0%	0,0%	0,0%
Graines oléagineuses	0,9%	0,0%	2,3%	2,5%	0,0%
Huiles	1,3%	0,9%	3,1%	0,2%	0,4%
Autres*	6,5%	5,4%	3,4%	10,4%	9,6%

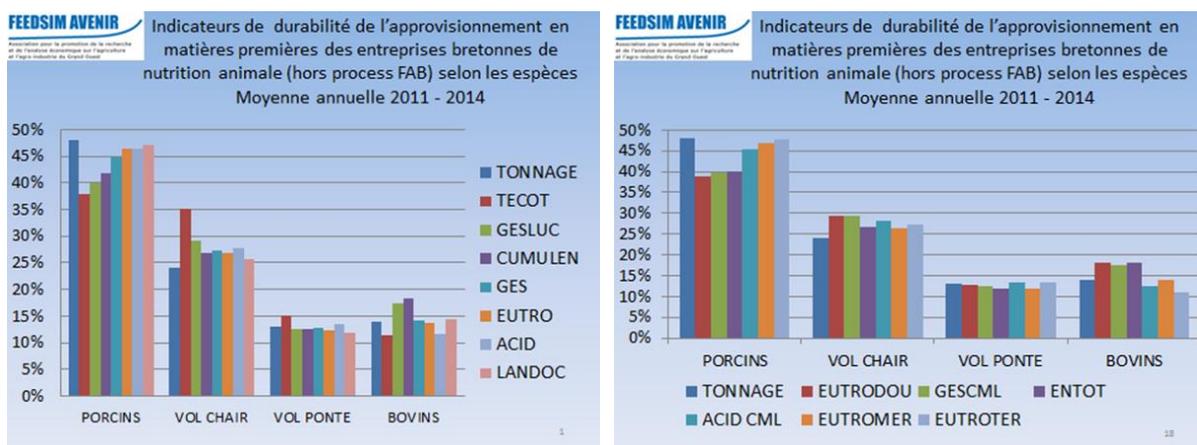
A l'échelle du Grand Ouest, la Bretagne représente, la majeure partie des impacts liés à la production d'aliments du bétail (de 64% à 68% suivant les impacts). Le transport intérieur français par route et fer intervient dans le niveau des différents indicateurs de développement durable toujours de façon modeste. Il est le plus important pour l'énergie non renouvelable avec 6.5 à 6.6% du total des consommations de MJ en raison du poids significatif du carburant pour les camions. Pour la même raison liée au carburant « pétrole », il intervient pour 3.4% dans les GES avec changement d'usage du sol et pour 4.4% sans changement d'affectation du sol. Pour tous les autres indicateurs le pourcentage est extrêmement faible (maximum de 1.6% pour l'acidification).

En ce qui concerne la contribution de chaque catégorie animale à la valeur régionale (Bretagne) des divers indicateurs, on observe que les aliments composés porc qui représentent 48% du tonnage des aliments fabriqués en Bretagne, ont des contributions toujours inférieures pour tous les indicateurs figurant dans le graphique ci-dessus. La situation est totalement inverse pour les volailles de chair.

Pour les volailles de ponte (13% en part de tonnage) les contributions sont souvent proches de ce chiffre sauf pour le phosphore où on a un niveau sensiblement plus élevé.

Pour les bovins la situation dépend fortement de l'indicateur considéré. La contribution est forte pour l'impact consommation d'énergie non renouvelable (CUMULEN), la changement climatique (GES) et l'occupation de sols (LANDOC), mais sensiblement plus faible pour le phosphore (TECOT) et l'acidification (ACID).

Figure 40 : Contribution des différentes espèces animales aux impacts environnementaux des aliments composés produits en Bretagne



Les fluctuations mensuelles des valeurs des indicateurs par tonne d'aliments composés sont plus élevées pour les bovins en raison notamment des fluctuations des taux d'incorporation du tourteau de soja (concurrence FAB avec colza et tournesol) et de la part des aliments composés de type VL40. Les aliments pour volailles de chair présentent globalement une moindre

variabilité en raison de la moindre flexibilité des formules qui contiennent toujours une part importante de maïs et de tourteau de soja en raison des contraintes élevées en protéines et énergie.

Le porc et les volailles de ponte ont certains coefficients élevés, ce qui traduit une plus forte flexibilité des formules.

En bovins, volailles de ponte et volailles de chair, des corrélations négatives sont constatées entre impacts environnementaux, pas toujours statistiquement significatives néanmoins, entre l'occupation des sols et de nombreux autres indicateurs dont l'acidification et l'énergie.

6.7.2. Réduction pas à pas

Le Tableau 41 présente les réductions maximales techniques des différents impacts environnementaux des aliments du bétail à l'échelle du Grand Ouest en les considérant l'un après l'autre et sans contraindre les réductions par rapport à l'augmentation du coût et à l'augmentation éventuelles des autres impacts environnementaux.

Tableau 37 : Matrice des réductions des impacts environnementaux obtenus pour les aliments composés, en minimisant un seul des impacts à la fois (Contexte : prix Juin 2012), sans contrainte sur le prix, pour le territoire du Grand Ouest

Réduction maximale obtenue pour l'impact minimisé (en gras) et incidence sur le prix et les autres impacts	Impacts minimisés					
	Consommation de P	Consommation d'énergie	Changement climatique	Acidification	Eutrophisation	Occupation des terres
Prix	+70%	+4%	+6%	+6%	+80%	+100%
Consommation de P	-38%	-2%	-16%	+5%	-27%	-25%
Consommation d'énergie	+96%	-22%	-11%	-7%	+102%	+140%
Changement climatique	+10%	-4%	-16%	+5%	+13%	+22%
Acidification	-11%	-13%	-8%	-20%	-10%	-10%
Eutrophisation	-17%	-1%	+3%	-4%	-26%	-26%
Occupation des terres	-15%	+8%	+12%	+3%	-27%	-32%
Incidence à l'échelle des espèces						
Porc	↓↓	↓↓	↓↓	↓↓	↓↓	
Bovin	↓↓	↓↓	↓	↓↓	↓↓	
Volaille chair	↓↓	↓↓	↑	↓↓	↓↓	
Volaille ponte	↓↓	↓↓	↑↑	↓↓	↓↓	

Code couleurs :

	↑ prix ou impact <5%		↓ entre 5% et 10%
	↑ prix ou impact supérieure à 5%		↓ supérieure à 10%
	↓ nulle ou inférieure à 5%		

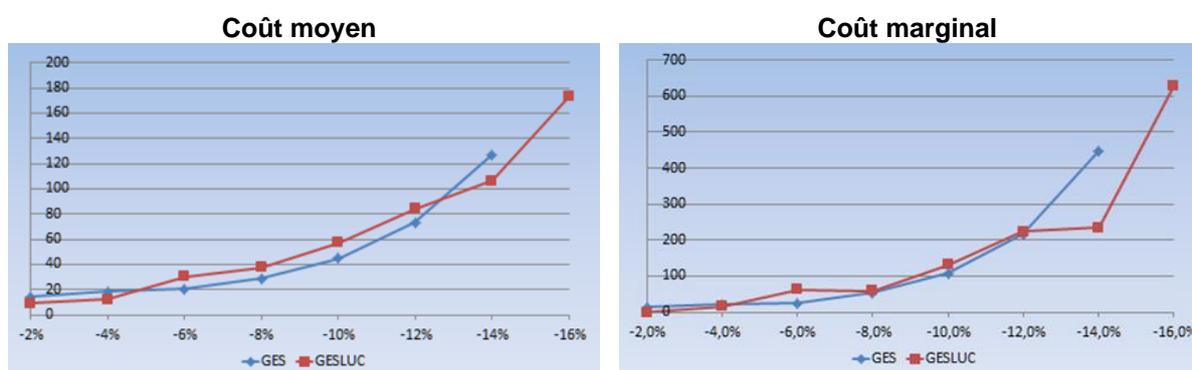
Des phénomènes similaires à ceux observés par filière animale s'observent à l'échelle du Grand Ouest, à savoir que la réduction d'un impact peut engendrer l'augmentation d'autres impacts (ransferts de pollution). La nouveauté est que des phénomènes de concurrence entre espèces animales s'observent à l'échelle territoriale. On peut observer simultanément une hausse d'émissions et une hausse de coût par pénurie de certaines matières premières pour une espèce donnée (cas du changement climatique pour les filières volaille).

Toute forme de réduction imposée au niveau régional pour un indicateur environnemental quelconque se traduit par une hausse du coût matière des aliments plus ou moins importante.

D'un point de vue purement « technique » on peut réduire l'impact changement climatique des aliments du bétail à l'échelle du Grand Ouest jusqu'à -16% avec une réduction sur une année de 772 000 tonnes de CO2 et une hausse de coût de +134 M€ (+6.3%) soit un coût moyen pour ce niveau de réduction de 173€/t de CO2.

La montre l'évolution des coûts moyens de la réduction du changement climatique.

Figure 41 : Coût moyen et coût marginal de la réduction de l'impact changement climatique (GESLUC : changement climatique avec changement d'affectation des sols ; GES : changement climatique sans changement d'affectation des sols) des aliments du bétail du Grand Ouest (€/t)

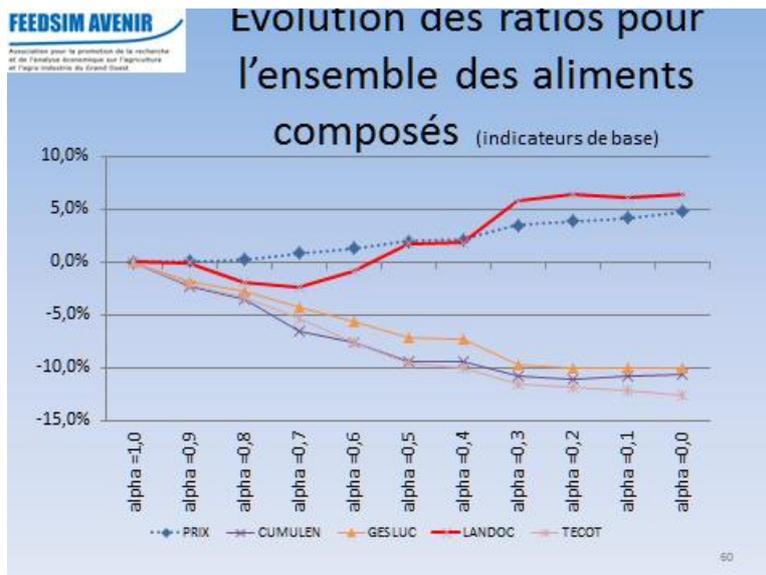


En ce qui concerne les coûts marginaux, à partir de -10% de réduction de l'impact changement climatique, on atteint des niveaux très élevés. Les valeurs finales (628€/tonne de CO2) indiquent les taxes qu'il faudrait théoriquement imposer sur le CO2 pour obtenir les réductions d'émission correspondantes (respectivement 14 et 16% pour l'impact changement climatique sans changement d'affectation des sols et changement climatique avec changement d'affectation des sols). Ces valeurs sont sans commune mesure avec le prix du carbone sur le marché. On peut noter qu'une taxe de l'ordre de 55€/t CO2 réduirait les émissions de GES et de GESLUC d'environ 8%, mais coûterait à la filière nutrition animale sur une année environ 210 millions.

6.7.3. Réduction avec fonction multiobjectif

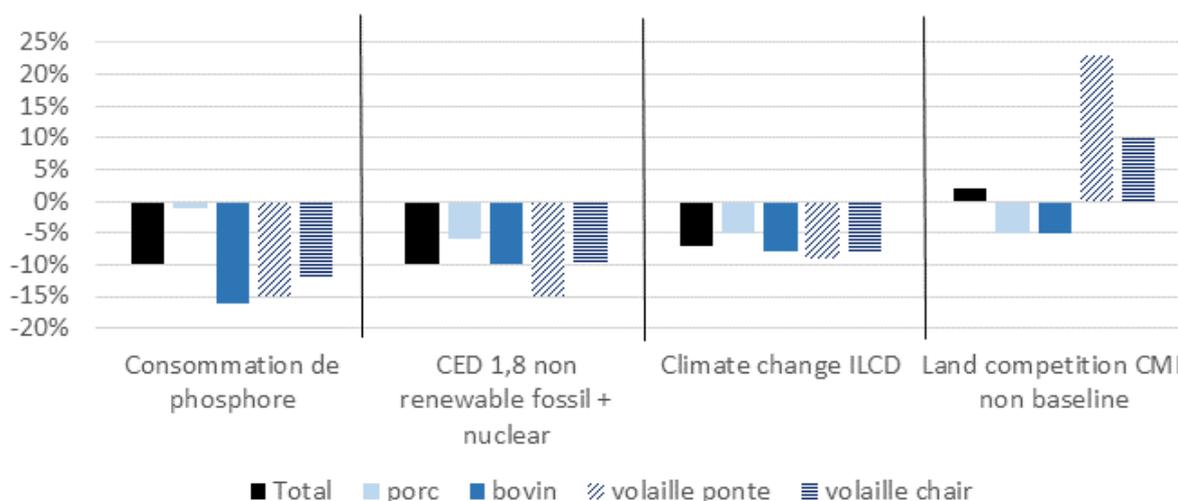
Comme observé précédemment trois des quatre indicateurs inclus dans la fonction objectif (GESLUC, CUMULEN et TECOT) font apparaître une baisse de l'ordre de 10% quand α diminue de 1 à 0 (Figure 42), tandis que LANDOC, après avoir baissé légèrement dans un premier temps, finit par augmenter.

Figure 42 : Evolution relative des impacts environnementaux d'une tonne aliment composé moyen produit dans le Grand Ouest en fonction des valeurs de α de la fonction multi objectif ($\alpha=0$ tout le poids est donné au coût ; $\alpha=1$: tout le poids est donné aux impacts environnementaux)



La Figure 43 présente les réductions d'impacts des aliments du bétails du Grand Ouest obtenues en utilisant la fonction multi objectif. Les résultats sont donnés pour un poids équivalent entre le cout et les impacts environnementaux de la fonction ($\alpha = 0.5$).

Figure 43 : Réduction des impacts environnementaux des aliments du bétails du Grand Ouest avec la fonction multi-objectif ($\alpha = 0.5$)



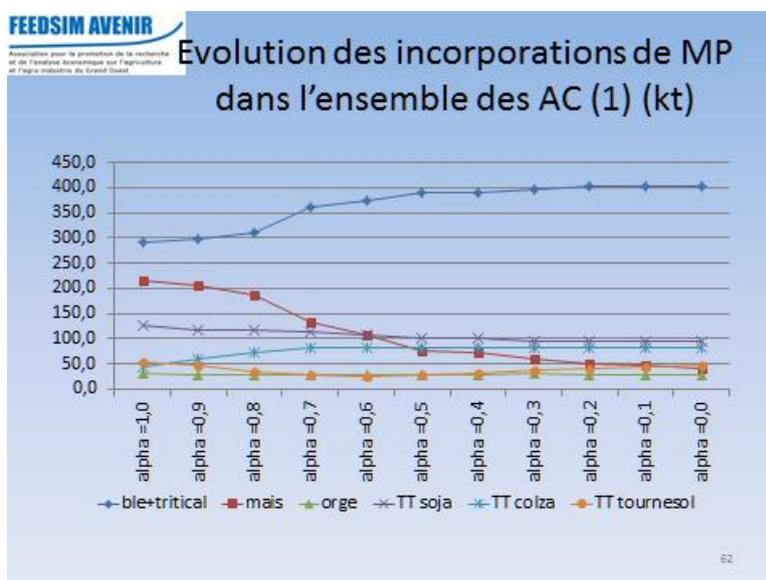
Du fait de la réduction conjointe des impacts environnementaux et de la prise en compte de l'augmentation du coût, les réductions d'impacts obtenues sont plus faibles que dans l'approche impact par impact mais les transferts de pollution sont limités. Pour autant, l'évolution de l'impact occupation des sols est très différente de celle des autres indicateurs. Pour l'ensemble des aliments, bien que cet indicateur soit pris en compte dans la fonction multi objectif, sa valeur augmente globalement à l'échelle du territoire. L'aliment bovin est le seul pour lequel on enregistre une faible baisse. Pour les aliments volailles de chair et de ponte on observe en sens inverse de fortes hausses.

En termes de matières premières, lorsque α diminue, l'évolution principale est une forte substitution du maïs (-173 000 tonnes sur le mois) par du blé (et du triticale) +111000 tonnes. L'orge varie très peu. On constate aussi un net recul du tourteau de soja (-32 000 t) qui est remplacé par plus de tourteau de colza (+37000 t). La substitution du maïs par le blé permet

de diminuer les valeurs en GESLUC et CUMULEN, mais tend à augmenter les valeurs en TECOT et LANDOC. La substitution du tourteau de soja par du tourteau de colza, permet de diminuer fortement le GESLUC et notamment TECOT, CUMULEN et LANDOC.

Parmi les autres matières premières, on a une disparition du wheatfeed, et des hausses des sons et remoulage, pois, huiles et graines oléagineuses. Ces dernières ont pour objet de compenser dans les formulations la différence énergétique entre le blé et le maïs et aussi entre le tourteau de soja et celui de colza. Pour le pois, après une première augmentation on atteint rapidement la saturation des disponibilités. La forte augmentation de la catégorie « autres » est presque totalement due à la forte augmentation des utilisations de corn-gluten-feed (cgf).

Figure 44 : Evolution des incorporations de MP dans l'ensemble des aliments composés du Grand Ouest (kt)



Concernant les coûts (Figure 45), lorsque α passe de 1 à 0, l'indicateur synthétique prix augmente de 4.8% et celui, pondéré, des impacts environnementaux diminue de 7.4%. Le ratio entre ces deux indicateurs ne cesse de diminuer (-11.7%). On observe globalement des variations dans la pente des trois courbes avec une tendance à l'« aplatissement » à partir de $\alpha=0.3$.

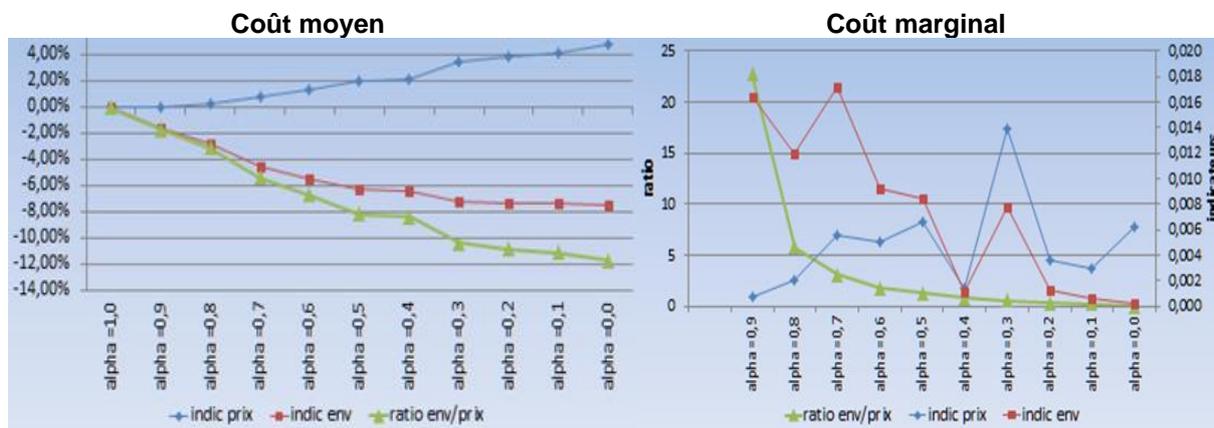
Il est intéressant de prendre en compte ces différences de pentes pour définir une « valeur optimale » de α .

La Figure 45 présente les variations (en valeur absolue) des deux indicateurs (exprimés en pourcentage) entre deux valeurs successives de α . Ainsi quand ce paramètre de pondération passe de 1 à 0.9, l'indicateur prix augmente de 0.0007 tandis que l'indicateur « environnement » diminue (en valeur absolue) de 0.0164, soit un ratio environnement/prix d'environ 23. Cela signifie que l'amélioration de l'environnement est 23 fois plus importante que la hausse de prix. Quand α passe de 0.9 à 0.8, on a une hausse du prix de 0.0021 et une baisse de l'indicateur environnemental de 0.0120 soit un ratio d'environ 6. Quand α continue à diminuer le ratio des deux indicateurs continue à diminuer pour atteindre à la fin 0.036. Ce ratio passe par une valeur de 1.26 pour $\alpha=0.5$ et 0.79 pour $\alpha=0.4$. C'est donc entre ces deux valeurs de α que le ratio vaut 1 qui correspond à la situation où l'augmentation de prix est exactement compensée par la diminution de l'impact environnemental.

On peut s'étonner par la forme des deux courbes prix et environnement lorsque α passe de 0.5 à 0.4. Elles indiquent qu'entre ces deux valeurs, il y a de très faibles modifications de

composition des aliments en terme de matières premières et donc que prix et environnement varient très peu.

Figure 45 : Evolution des ratios moyens et marginal des indicateurs synthétiques prix et environnement des aliments du bétail du Grand Ouest avec l'utilisation de la fonction multi objectif (€/t)



Synthèse des résultats sur l'amélioration des impacts environnementaux des produits animaux via l'optimisation environnementale de la formulation des aliments du bétails à l'échelle territoriale

Les substitutions entre matières premières à formulation nutritionnelle constante et l'optimisation de l'approvisionnement permettent certaines améliorations au niveau du développement durable, mais sont limitées par les disponibilités et les hausses rapides de coût.

Il existe un écart considérable entre le niveau maximum des réductions possibles de chaque indicateur d'un point de vue « technique » et les possibilités économiques.

Il existe de nombreuses interactions entre catégories d'aliments composés et régions liées à la concurrence sur certains approvisionnements.

Les matières premières qui pourraient bénéficier d'un intérêt plus grand des fabricants dans le cadre d'une amélioration de la durabilité de l'approvisionnement en matières premières seraient les coproduits céréaliers, le blé au détriment du maïs et les protéagineux. Les tourteaux de colza et de tournesol sont le plus souvent intéressants même si le soja est dans la plupart des cas peu affecté. Seules les réductions des émissions de GESLUC et TECOT affectent significativement à la baisse les incorporations de tourteau de soja.

Les leviers à la disposition des FAB semblent nettement plus limités que les impacts obtenus par :

- Augmentation des disponibilités en certaines matières premières (protéagineux, tourteau de colza, coproduits céréaliers etc.)
- Amélioration des conditions de production agricole de certaines matières premières de base (ITK blé, etc.)

Enfin, il faut mentionner que nous n'avons étudié que le maillon de la nutrition animale sachant que le poids de la nutrition animale dans la durabilité des productions animales est, par exemple pour les émissions de GES, de seulement 50 % dans le cas du porc et de plus de 75 à 80 % dans le cas des volailles.

L'utilisation d'une fonction multiobjectif permet de prendre en compte simultanément des facteurs économiques et environnementaux

Les indicateurs environnementaux enregistrent dans ce cadre des baisses simultanées de leurs valeurs à l'exception de façon notable de l'indicateur LANDOC d'occupation des sols qui progresse fortement

Les trois catégories d'aliments composés (porcs, volailles et bovins) ont des comportements très différents en terme de hausse de prix, d'évolution des indicateurs environnementaux et de substitutions entre matières premières, même si on retrouve de façon générale le remplacement du maïs par le blé/triticales. On retrouve également le plus souvent une augmentation des incorporations de sons et remoulage, et du pois, associées à une augmentation de l'utilisation d'huiles voire de graines oléagineuses. Les incorporations de tourteaux de colza et de tournesol sont favorisées par une baisse des incorporations de tourteaux de soja, induite dans l'indicateur composite par la réduction de l'indicateur GESLUC Les limites de disponibilités globales de matières premières pour l'approvisionnement de l'ensemble des aliments composés induisent de profondes compétitions sur le choix et l'origine des matières premières entre formules d'aliments composés, entre usines et entre régions

Il est difficile d'anticiper les impacts de l'alpha de la fonction multi objectif sur les hausses de coût et les diminutions des indicateurs

Dans le choix de l'alpha, on pourrait proposer comme règle de retenir la valeur d'alpha pour laquelle la hausse de l'indicateur prix (en %) est égale à la diminution de l'indicateur synthétique environnemental (dans les simulations précédentes cette valeur se situe entre 0,4 et 0,5).

De manière générale, il est constaté à l'échelle territoriale du Grand Ouest que les céréales impactent fortement la durabilité de la nutrition animale, compte tenu de leur importance dans la composition des aliments. Une incidence marquée du tourteau de soja est également relevée pour l'impact changement climatique avec changement d'affectation des sols.

7. Limites et Reproductibilité

7.1. Granulométrie des données ACV des MP

Les données ECOALIM sont des moyennes françaises, mixant les différents ITK et les zones de productions (contextes pédoclimatiques) avec leurs représentativités, ou par ITK. Cette échelle masque une grande variabilité derrière chaque moyenne (rendements, niveaux de fertilisation...).

Ce point est une limite car les écoaliments engendrent une substitution de MP (en comparaison des aliments standard), avec certaines MP sortant des formules et d'autres entrant dans les formules.

Les écoaliments obtenus dans ce projet avec la fonction multiobjectif sont le résultat d'une prise en compte uniquement des valeurs moyennes d'impact des MP (sans prendre en compte la variabilité des données).

Il faudra s'assurer par une analyse de sensibilité que la prise en compte des plages de variations de valeurs d'impacts des différentes MP permet bien de toujours produire des écoaliments (avec une différence significative par rapport aux aliments standards) et avec des profils proches en termes de taux d'incorporation.

Un stage de fin d'étude a été lancé sur cette question et finalisera ses conclusions courant automne 2017.

7.2. Transfert de pollution

Les résultats montrent que la prise en compte individuelle des impacts environnementaux dans la formulation conduit à des transferts de pollution entre impacts : l'amélioration de l'impact changement climatique peut augmenter l'impact acidification ou occupation des sols par exemple.

De ce fait, une fonction multi objectif a été définie pour améliorer conjointement plusieurs impacts et le prix. Ce choix méthodologique a permis de restreindre les transferts de pollution.

Pour autant, l'approche ACV attributionnelle réalisée masque d'autres effets en dehors du périmètre expertisé.

En effet, faire le choix de produire des écoliments vs des aliments standards revient à choisir un nouveau jeu de MP pour les aliments avec, des MP qui sortent des formule, de nouvelles MP, et des MP déjà dans les formules mais avec des taux d'incorporation plus élevés ou moins élevés.

Ce changement de MP peut modifier les assolements si les écoliments se généralisent et de fait changer les impacts environnementaux des MP utilisées dans l'alimentation animale et des MP non utilisées dans l'alimentation animale mais produites dans les mêmes rotations.

Les effets induits peuvent être nombreux et ne seront pas visibles avec l'utilisation du jeu de données ECOALIM.

Le stage de fin d'étude préalablement cité avait également pour missions d'identifier ces effets induits. Ce travail apportera une information complémentaire à ce projet.

7.3. Quelle base de données pour les fabricants d'aliments ?

ECOALIM propose un jeu de données pour permettre aux fabricants d'aliments de sélectionner dans leurs aliments des MP avec de moindres impacts environnementaux. D'autres initiatives de ce type sont engagées dans d'autres pays ou à l'échelle européenne. C'est le cas des Pays Bas qui ont mis en place l'outil Feedprint. Ce dernier donne l'impact changement climatique de matières premières entrant dans l'alimentation animale pour différents pays européens. Une nouvelle version prenant en compte d'autres impacts environnementaux a vu le jour : Agrifootprint.

Au niveau européen, dans le cadre du PEF, une base de données de l'alimentation animale est en cours de constitution. Elle s'appuie au départ sur Agrifootprint mais a recensé les expériences des pays membres et notamment ECOALIM. Les données ECOALIM ont été proposées à cette base de données européenne pour les valeurs françaises via l'outil plus global AGRYBALYSE porté par l'ADEME. La mobilisation des données ECOALIM dans cette base a été actée mais sans convenir des modalités précises à ce stade.

Face à ces différentes initiatives, les fabricants d'aliments ou leurs représentants qui se sont exprimés dans le cadre du projet ECOALIM souhaitent une base de données unique a minima européenne car ils s'approvisionnent dans différents pays.

En tant que producteurs des données ECOALIM, les partenaires du projet souhaitent quant à eux mettre à disposition des données représentatives des pratiques françaises et sensibles aux leviers d'actions qui pourraient être mis en œuvre pour réduire les impacts des MP.

Le projet ECOALIM a tenté de faire converger ses différents besoins en :

- Produisant avec les données ECOALIM des données de MP françaises prenant en compte les ITK français avec leur diversité et leur représentativité.
- Proposant ces données à la base de données européenne.

Pour autant des questions demeurent car il semble difficilement envisageable de faire coexister dans la base de données européenne des données produites par différents pays avec différents choix méthodologiques. Deux options pourraient être suivies :

- Laisser tout de même ces différentes sources coexister. Un problème pourrait être une utilisation par les fabricants de données provenant de différentes sources. Le choix de privilégier ou d'écarter telle MP serait dans le cadre de la formulation basé sur une comparaison de données non comparables.
- Harmoniser les méthodes de calcul. Ce point pose également problème car les évaluations de flux pourraient être fortement simplifiées et « dégradées » par rapport à la version ECOALIM.

Les partenaires d'ECOALIM suivront dans les mois et années à venir les choix qui seront faits, par l'intermédiaire de l'ADEME, du SNIA ou des ministères associés à ces discussions européennes et, de fait, représentant les valeurs françaises.

7.4. Choix politiques ajustables

La fonction multiobjectif testée dans le projet ECOALIM propose de prendre en compte 4 impacts environnementaux (changement climatique, consommation d'énergie non renouvelable, consommation de phosphore, occupation du sol). Ces derniers ont été choisis car lorsqu'ils concernent des produits animaux (porc et poulet), ils sont majoritairement expliqués par l'alimentation des animaux.

Si ce choix peut être argumenté sur le plan technique, un autre choix a été fait de doubler le poids de l'impact changement climatique. Ce choix est davantage politique et un autre choix pourrait être fait dans un autre cadre.

Par ailleurs, le choix a également été fait de définir les écolaisments pour une valeurs de α (α : poids des impacts environnementaux dans la fonction multiobjectif ; $1-\alpha$: poids du coût) optimale au delà de laquelle la réduction environnementale devient négligeable au regard de l'augmentation du coût. Une mise en application de cette fonction multiobjectif par des fabricants d'aliment pourrait engendrer des choix de α différents suivant l'augmentation de coût qu'ils estiment pouvoir mettre en œuvre.

Dans tous les cas, une application de cette fonction multiobjectif par les fabricants d'aliments engendrerait des résultats différents car le contexte économique change et les résultats sont sensibles aux prix des MP.

8. Enseignements et Recommandations

8.1. Production de près de 150 références environnementales de matières premières utilisées ou utilisables en alimentation animale, mises à disposition dans les bases de données référentes

Les références produites portent sur les matières premières utilisées pour l'alimentation des animaux d'élevage en France, tenant compte des itinéraires techniques français, des origines étrangères et des procédés de transformation des matières premières. Le jeu de données ECOALIM comprend 160 données d'ACV, dont 26 pour les céréales, 11 pour les coproduits de céréales, 27 pour les graines protéagineuses et oléagineuses, 32 pour les tourteaux, 28 pour les corps gras, 6 pour les fourrages et 9 pour les minéraux et additifs. Des données de moyennes nationales françaises ont été construites à partir de différents processus de

production pour les matières premières transformées les plus courantes (e.g. graines décortiquées, toastées, extrudées...). Pour les principales cultures, une donnée d'ACV nationale moyenne a été produite ainsi que des déclinaisons pour différents itinéraires techniques (fertilisation organique, implantation de culture intermédiaire, introduction de légumineuses dans la rotation). Les ACV ont été conduites en focalisant sur 5 indicateurs d'impacts (demande cumulée en énergie CED, changement climatique CC, acidification AC, eutrophisation EU, et occupation des terres OT). Toutes les données produites ont fait l'objet d'un contrôle et d'une validation par un comité d'experts. La méthode de caractérisation CML a été choisie pour le calcul des impacts EU et OT et la méthode ILCD a été choisie pour le calcul des autres impacts.

Un site internet (http://rmtlevagesenvironnement.org/bd_ecoalim.htm) diffuse ces données, qui seront par ailleurs reprises dans les prochaines tables d'alimentation produite par l'AFZ (automne 2017).

Les données ont également été intégrées à la base de données Agribalyse et par ce biais proposée au PEF pour la base de données européenne sur l'alimentation animale.

Le projet ECOALIM fournit un jeu de données, sur les impacts environnementaux des matières premières entrant dans l'alimentation animale, homogènes (car les données sont obtenues avec la même méthodologie), représentatives des pratiques françaises et prenant en compte quelques leviers d'action (prise en compte de différents ITK). Il est important à l'avenir de veiller à rendre accessibles ces données dans le cadre d'outils européens (échelle d'approvisionnement des fabricants d'aliments), tout en veillant à ce que les données soient comparables avec celles d'autres pays (en termes de méthodologie de calcul).

8.2. Une méthodologie ACV à appliquer aux intrants alimentaires des élevages

Les travaux sur les questions méthodologiques ont in fine engendré :

- **Des évolutions de méthode par rapport à Agribalyse.**
 - o Des actualisations dans la modélisation des flux environnementaux (cas des émissions d'ammoniac calculées à partir de l'EMEP 2013 vs 2009).
 - o L'ajout d'un nouvel indicateur ACV qui est la consommation de phosphates.
 - o Des modifications de règles d'allocation à l'échelle de la succession culturale (l'allocation des pertes en nitrates sur la succession culturale se base sur une répartition équivalente des pertes en nitrates de la rotation entre les cultures de la rotation, au lieu d'une prise en compte des pertes de récolte à récolte pour une imputation à la culture récoltée ; l'allocation du phosphore sur la succession culturale se base comme Agribalyse sur les exportations des cultures de la rotation, en ajoutant un critère d'exigence de chaque culture) choisies pour répartir au mieux (avec une prise en compte de règles agronomiques) les impacts environnementaux entre cultures, qui deviennent ensuite différents intrants pour l'alimentation animale.
- **Des pistes pour une amélioration à termes des évaluations par ACV des cultures.**
 - o Des modèles intégratifs (modélisant les différents flux azotés : pertes gazeuses NH₃ et N₂O, lessivage de NO₃⁻), comme SYSt'N et INDIGO, ont été identifiés et testés. Ils présentent l'avantage d'assurer une cohérence des bilans azotés mais s'avéraient pas prêts, dans leur configuration actuelle de développement, pour une utilisation dans ECO-ALIM.
 - o Une synthèse sur les prérequis nécessaires pour une prise en compte dans ECOALIM, d'indicateurs comme les consommations d'eau et la biodiversité, et une meilleure prise en compte des impacts locaux.

Concernant les évolutions de méthodes, les principales avancées sont et seront reprises dans les prochaines versions d'Agribalyse. Pour autant, une différence

subsiste et concerne l'allocation de pertes de N par lessivage entre les cultures d'une même rotation.

L'évolution de méthode ECOALIM a été présentée au comité technique d'Agribalyse (janvier 2016) pour une harmonisation de méthode. A la suite, un groupe d'experts s'est réunis en 2017 et a décidé de ne pas retenir la nouvelle règle pour AGRIBALYSE.

Cela conduit à ce stade à deux méthodes qui coexistent dans la base de données AGRIBALYSE car les données ECOALIM y ont été intégrées avec leur méthode de calcul initiale. Il conviendra d'harmoniser la méthode et de recalculer toutes les données ECOALIM pour que toutes les données présentes dans AGRIBALYSE soient cohérentes.

Il est à noter que certains choix au niveau de la méthode ACV jouent sur les résultats d'ECOALIM, en termes de composition des formules. Ainsi, l'intérêt d'incorporer des coproduits dans les éco-aliments est inhérent au choix de la méthodologie d'allocation économique dans l'estimation des impacts environnementaux des MP. Un autre choix d'allocation n'aurait pas forcément donné autant d'attrait à ces MP, comparativement aux autres. Ce choix de règle d'allocation économique a été fait en suivant la méthode AGRIBALYSE sans travail spécifique sur ce point dans le cadre du projet.

8.3. Méthode d'optimisation environnementale de l'étape formulation des aliments du bétail

La prise en compte des critères environnementaux dans la formulation a en premier lieu été réalisée impact par impact. Avec cette optimisation monocritère, l'amélioration d'impact entraîne la dégradation d'autres impacts. Il est difficile de dégager des tendances communes entre filières animales car l'évolution des impacts est différente selon les productions et au sein de chaque filière, selon l'aliment formulé. Il y a donc un risque non nul de générer du transfert de pollution en optimisation monocritère, sauf à imposer des maxi sur les impacts que l'on souhaite ne pas voir augmenter. Une méthode d'optimisation multicritère a donc été construite dans le cadre du projet pour permettre d'assurer une amélioration globale des impacts environnementaux sans transfert de pollution (ou avec peu de transfert de pollution). Cette méthode utilise une fonction multiobjectif prenant en compte le coût et 4 impacts environnementaux globaux pour lesquels l'alimentation pèse significativement à l'échelle des produits animaux.

La mise en œuvre de la fonction multiobjectif au niveau de la formulation des aliments du bétail permet de voir les dynamiques de réductions environnementales et d'augmentation des coûts en parallèle des aliments pour une évolution progressive du poids de l'environnement au détriment du coût. Ce format dynamique de restitution permet aux lecteurs d'identifier leur point d'optimum qui peut varier d'un fabricant à l'autre. Cette présentation des résultats met également en évidence que la plus forte réduction d'impacts n'est pas forcément la meilleure solution. En effet, les résultats de l'optimisation multicritère montre que la meilleure prise en compte de l'environnement n'est pas forcément obtenue lorsque tout le poids de l'optimisation est mis sur l'environnement (et rien sur le coût) car des phénomènes de compensation entre indicateurs interviennent : pour améliorer encore plus et à la marge l'impact GES, des augmentations d'autres impacts sont réalisées alors que dans des étapes préalables des réductions étaient opérées sur l'ensemble des impacts.

L'utilisation de la fonction multiobjectif peut être ajustée d'un utilisateur à un autre car certains paramètres sont d'ordre politique. Ainsi l'utilisateur final peut choisir la pondération appropriée à son contexte entre l'index de prix et l'index environnemental, en entre les différents impacts environnementaux. Dans le projet ECOALIM, l'impact CC avait une pondération de 2β , ce qui a compensé d'OT qui avait une pondération de 1β . Cette observation met en évidence l'importance du choix des facteurs de pondération dans ce type de méthodologie.

Il convient à la suite de ce projet de diffuser sur cette méthode de formulation multiobjectif auprès des acteurs de l'alimentation animale. Une formation est programmée pour le 11 septembre 2017 prochain afin d'expliquer la méthode et permettre aux acteurs de l'ajuster à leurs usages et ainsi décider du compromis qu'ils peuvent faire entre le prix de l'aliment et ses impacts.

La faisabilité et l'appropriation de la méthode conditionnent son utilisation pour réduire les impacts environnementaux de l'alimentation animale. Si l'importante similarité de la méthode multiobjectif par rapport à la méthode à moindre coût doit faciliter son appropriation, le frein restera l'existence d'un surcoût à répartir entre acteurs des filières ou à répercuter sur le prix de vente du produit.

8.4. Potentiel de réductions des impacts environnementaux des aliments pour les différentes filières animales

Des réductions des impacts environnementaux des aliments du bétail sont possibles dans le contexte actuel de disponibilité en matières premières (MP), et sont supérieures dans un contexte de disponibilité assouplie. Des réductions jusqu'à au moins 10% pour chacun des impacts de la tonne d'aliment sont identifiées en optimisant sur un seul critère environnemental et peuvent aller de 10 à 26% de réduction (en fonction des impacts et des filières) dans un contexte de disponibilité en MP limitée et de 18 à 38% dans un contexte de disponibilité illimitée. Toutefois, chaque filière a pu mettre en évidence le danger de la formulation monocritère car les réductions observées sont généralement accompagnées d'augmentations des autres critères environnementaux. En optimisation multicritère, des impacts restent difficiles à réduire conjointement avec les autres : c'est le cas de l'occupation des terres.

L'amélioration environnementale a un coût. Pour 10% de réduction des impacts en optimisation monocritère, ce surcoût est le plus souvent inférieur à 1%. Au maximum de la réduction des impacts en monocritère, ce surcoût peut aller jusqu'à 5-7% (cas d'un surcoût à 21% pour un aliment jeune bovin 27 % de protéines) mais la majorité des réductions d'impacts en optimisation mono et multicritère s'obtiennent avec des surcoûts inférieurs à 5% (autour de 3-4%). Un point important associé à une mise en œuvre est la prise en compte de ce surcoût : la question sera de savoir qui le paye et comment.

L'optimisation environnementale de l'étape formulation à des conséquences sur les matières premières des formules avec l'entrée de MP qui sont parfois peu disponibles (triticale, sorgho, pois, féverole, graine et tourteau de colza, coproduits du blé, pulpes de betterave, graisse animale). Deux leviers d'actions au niveau des itinéraires culturaux semblent plus d'intérêt pour réduire les impacts consommations de P et eutrophisation des aliments avicoles et bovins : il s'agit de la fertilisation organique et de l'utilisation de CIPAN. Les pratiques « couvert associé » et « introduction de légumineuses » semblent avoir un intérêt environnemental plus limité à l'échelle de la formulation. Les différents tourteaux de soja, plus ou moins liés à la déforestation ont de fortes incidences sur les impacts environnementaux GES des aliments avicoles et bovins : la substitution de tourteaux liés à la déforestation par des tourteaux des USA ou français (prospectifs) permet d'atteindre des réductions d'impact. Ceci est beaucoup moins perceptible en production porcine car très peu de tourteaux de soja sont rentrés dans les formules dans les contextes économiques 2011-2014.

La mise en œuvre de la fonction multi-objectif dans les différentes filières animales montre un intérêt pour les mêmes MP et posent les questions de 1) la disponibilité des MP, 2) la concurrence/coopération entre filières animales et 3) la concurrence/coopération entre acteurs à l'échelle du territoire pour l'utilisation des ressources disponibles au plus intéressant pour la communauté (cf. 8.6). Il est bien sûr entendu qu'une augmentation de la demande pour ces MP pourrait entraîner également une augmentation de leur prix, et à terme donc une augmentation de leurs impacts calculés par allocation économique (cas pour les coproduits des céréales par exemple).

Il est à noter que l'hypothèse d'utiliser les mêmes prix pour les scénarios LIM et NLIM conditionne les résultats obtenus pour le scénario prospectif NLIM. L'augmentation de la demande pour des MP présentant de faibles impacts étant susceptible d'entraîner des modifications de prix et par conséquent la composition des formules, leur prix et leurs impacts environnementaux.

8.5. Réduction des impacts des produits animaux avec les écoaliments

Les réductions d'impacts environnementaux des produits animaux grâce à l'utilisation d'écoaliments montrent :

- **Des possibilités de réductions significatives en productions avicoles en raison du poids important des aliments dans les impacts environnementaux** (environ 80%).
- **Des possibilités de réduction plus limitées en production porcine car l'aliment pèse moins dans les impacts environnementaux** (environ 60%). L'étape élevage avec l'excrétions et la gestion des effluents joue également. De ce fait, une analyse plus détaillée de ce lien entre stratégies d'alimentation, performances des animaux, excrétions a été regardée en étudiant plusieurs stratégies d'alimentation et notamment certaines basées sur la réduction des rejets azotés.
- **Des possibilités de réduction très limitées en production bovine.** De fait les aliments composés ne représentent qu'une faible part de la ration des bovins et ce levier doit s'additionner avec d'autres pour apporter une réduction significative des impacts à l'échelle des produits animaux.

8.6. Réduction des impacts à l'échelle du territoire du Grand Ouest

Les résultats des écoaliments raisonnés au sein des filières animales individuelles (cf. 8.4) montrent une tension liée à l'accès aux MP « intéressantes » pour les écoaliments.

L'approche territoriale est celle qui mesure les possibles réductions et toutes améliorations doit être validée à cette échelle pour éviter d'améliorer une filière et d'en dégrader une autre.

A l'échelle du Grand Ouest, les productions porcine, laitière et avicole sont juxtaposées et nécessitent des volumes de MP importants. Une concurrence s'opèrent entre les filières pour accéder aux MP. A cette échelle, l'utilisation du modèle de Feedsim Avenir de multiformulation associant la logistique et la formulation des aliments pour l'ensemble des usines du Grandouest, Bretagne, Pays de la Loire et Basse-Normandie, a permis une prise en compte de la concurrence entre espèces animales et entre les usines localisées sur le territoire ainsi que les disponibilités de chacune des matières premières selon leur origine (usine, centre de collecte, ports, etc.). En cela les résultats caractérisent la durabilité de l'approvisionnement en matières premières des usines de nutrition animale du Grand-ouest

- Il apparaît que la part du transport est très limitée dans les impacts des aliments à l'exception des impacts changement climatique et consommation d'énergie (respectivement 4,5 et 6,5 %). Les impacts des aliments sont donc essentiellement dus à la production agricole des matières premières, voire des process de transformation de ces matières premières pour l'obtention de coproduits.
- A l'échelle du Grand-ouest, l'impact changement climatique de la production des aliments du bétail est de 8,2 millions de tonnes eq CO₂ lorsque ces derniers sont produits à moindres coûts (pratique de formulation actuelle sans prise en compte de critères environnementaux).
- Lorsqu'une réduction des impacts environnementaux des aliments du bétail est recherchée il apparaît:
 - o des antagonismes entres impacts environnementaux comme à l'échelle des productions individuelles. Il faut noter en particulier la grande difficulté, voire l'impossibilité, à réduire les émissions de GES tout en n'augmentant pas

- l'occupation des sols nécessaires à la production des matières premières agricoles utilisées.
- des réductions théoriquement possibles relativement importantes pour certains indicateurs, mais inenvisageables économiquement sans accompagnement. La réduction du changement climatique à hauteur de -14 % par exemple induit à l'échelle de la Bretagne un surcoût de près de 75 millions d'euros, soit une croissance de près de 4 % du coût total d'approvisionnement en matières premières de la région ; le coût de d'approvisionnement progresse généralement fortement lors de réduction des indicateurs de plus de 5 %.
 - Avec la fonction multi-objectif qu'on obtient une augmentation du prix des aliments, tous aliments confondus, de 2 % avec une réduction des impacts environnementaux pour la plupart de - 5 à - 10 % à l'exception de l'occupation des sols qui progresse de 1 à 2 %.
- Les réductions d'impacts des aliments du bétail sont rendues possibles par le recours à des matières premières avec de moindres impacts : substitution du maïs par le blé par exemple, recours à du pois et des coproduits céréaliers associés à davantage d'huiles ou de graines oléagineuses. Compte tenu des faibles disponibilités de certaines matières premières (pois, coproduits céréaliers), une concurrence entre usines et régions sur l'approvisionnement en matières premières est inéluctable. Ainsi, l'amélioration en Bretagne de certains indicateurs se fait la plupart du temps au détriment des indicateurs de durabilité de la région des Pays de la Loire. Les tourteaux dits secondaires, colza et tournesol, voient leurs incorporations favorisées dans l'aliment pour remplacer en partie la consommation de soja.
- Ainsi, le travail réalisé à l'échelle territoriale a montré qu'il était possible par la formulation d'améliorer sensiblement la durabilité de l'approvisionnement en matières premières de la nutrition animale mais à condition d'accepter des augmentations de prix des aliments et avec de fortes contraintes sur la disponibilité en matières premières suffisantes. Ceci passe donc par une amélioration de la durabilité des productions végétales et une progression des disponibilités de certaines de ces productions végétales.

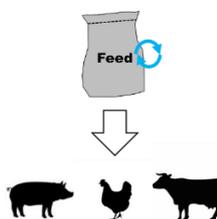
9. Valorisations réalisées et envisagées

En noir : réalisé ; en rouge : à venir

Travaux	Concrétisations dans le cadre du projet	Nouvelles valorisations à prévoir	Diffusion
Tâche 1 : Calages méthodologiques ACV ECOALIM	Guide méthodologique ACV ECOALIM	Période intermédiaire où les méthodes ACV ECOALIM et AGRIBALYSE ne seront pas identiques	
		Une partie pourrait être ajoutée dans le rapport méthodologique Agribalyse précisant comment ont été calculées les données ECOALIM avec les petites différences persistantes entre	Le guide ECOALIM sera diffusé à la demande à toute personne le demandant ou souhaitant calculer de nouvelles données ECOALIM (nouvelles MP, nouveaux ITK, processus)



		ECOALIM et AGRILYSE	
		Moment à partir duquel il y aura une harmonisation des méthodes de calcul entre ECOALIM et AGRIBALYSE	
		Le guide méthodo ECOALIM n'aura plus d'intérêt et la méthode sera présentée dans le guide méthodo AGB	
	Rapport sur la comparaison des modèles de flux et analyse détaillées sur des cas types.	Une valorisation à l'international sous forme d'article serait intéressante et utile pour la communauté ACV.	Colloque internationaux ou revue à comité de lecture
Tâche 2 : Réalisation des ACV des MP	-Jeu de données ECOALIM sous Excel V1 - Processus au format Unit des données ECOALIM dans un projet partagé sous le Simapro multiuser du RMT « élevages et environnement ».	V2 à venir	-Communications scientifiques et techniques -Mise en ligne du jeu de données Excel sur le site internet du RMT « élevages et environnement » : http://rmtelevagesenvironnement.org/bd_ecoalim.htm -Intégration des données ECOALIM dans la base de données AGB V1.3 -Proposition des données au PEF (+GLI) via AGB -Diffusion des données ECOALIM dans les nouvelles tables d'alimentation de l'AFZ (sept 2017) -Diffusion des données ECOALIM dans des outils d'évaluation environnementale comme GEEP -Envoi jeu de données ECOALIM V2 à ADEME pour prochaine mise à jour AGB (format projet simapro) -Insertion des données ECOALIM dans des outils comme PORFAL



			A termes, nouvelles MP via in& out et AGB + compétences INRA
Tâche 3 :	<ul style="list-style-type: none"> -Obtention d'écoalimentations pour différentes filières animales, différents contextes économiques et différents scénarios de disponibilité en MP -Mesure de la réduction d'impacts environnementaux à l'échelle des produits animaux 	-	<ul style="list-style-type: none"> - Communications scientifiques et techniques -Formation sur les données ECOALIM pour la formulation réalisée par l'IFIP (6 stagiaires) en 2015 -Stage de fin d'étude sur des questions d'incertitudes et d'effets induits autour des écoalimentations (stage en cours) -Formation sur la fonction multi-objectif en formulation (11 septembre 2017) -Outils de formulation multiobjectif pour les fabricants d'aliments (support pour la formation)

Trois principaux types de résultats du projet ont fait l'objet de valorisation : les données sur les impacts environnementaux des matières premières entrant dans l'alimentation des animaux d'élevage, leur prise en compte dans l'étape de formulation avec l'obtention d'ECOALIMENTS, et enfin l'incidence de ses améliorations environnementales à l'échelle des produits animaux.

9.1. Site internet

Mise en ligne des données ECOALIM sur les impacts environnementaux des intrants alimentaires du bétail (http://rmtelevagesenvironnement.org/bd_ecoalim.htm)



9.2. Bases de données

Intégration des données ECOALIM sur les impacts environnementaux des intrants alimentaires du bétail dans la base de données AGRIBALYSE®



Transmission des données ECOALIM sur les impacts environnementaux des intrants alimentaires du bétail au PEF (+GFLI) pour une intégration dans la base de données européenne



9.3. Colloques, symposium

Wilfart A., Dauguet S., Tailleur A., Willmann S., Laustriat M., Magnin M., Garcia-Launay F., Gac A., Espagnol S., 2015. ECOALIM : une base de données des impacts environnementaux des matières premières utilisées en France pour l'alimentation animale. Journée 3R, 22.



Wilfart A., Dauguet S., Tailleur A., Garcia-Launay F., Willmann S., Laustriat M., Magnin M., Gac A., Espagnol S., 2016 (à venir). ECOALIM : une base de données sur les impacts environnementaux des matières premières utilisées en France pour l'alimentation animale. 48ème Journée de la recherche porcine, 2-3 février 2016, Paris, France



Wilfart A., Dauguet S., Tailleur A., Willmann S., Laustriat M., Magnin M., Garcia-Launay F., Gac A., Espagnol S., 2016. ECOALIM: a Dataset of the Environmental Impacts of Feed Ingredients Used for Animal Production in France. Symposium LCAfood 2016



Wilfart A., Dauguet S., Tailleur A., Willmann S., Laustriat M., Magnin M., Garcia-Launay F., Gac A., Espagnol S., 2017. ECOALIM : une base de données des impacts environnementaux des matières premières utilisées en France pour l'alimentation animale. Journées JRA 2017



Dauguet S., Tailleur A., Willmann S., Laustriat M., Wilfart A., Espagnol S., 2016.. LCAResults of French cereals and oilseed feedstuffs with effect of different agricultural practices. Symposium LCAfood 2016



Garcia-Launay F., Wilfart A., Dusart L., Nzally C., Drone Y., Gaudré D., Espagnol S., 2016. Multiobjective formulation is an efficient methodology to reduce environmental impacts of pig feeds. LCAfood 2016



Dusart L., Garcia-Launay F., Wilfart A., Méda B., Bouvarel I., Espagnol S., 2017. La formulation multiobjectif : une méthode originale et efficace pour formuler des aliments écologiques et économiques. JRA 2017



Garcia-Launay F., Wilfart A., Dusart L., Nzally C., Gaudré D., Laisse-Redoux S., 2017. Une formulation multi-objectifs pour réduire les impacts environnementaux des aliments pour porcs charcutiers. Journée de la recherche porcine, 49.



Méda B., Dusart L., Ponchant P., Garcia-Launay F., Espagnol S., Wilfart A., Bouvarel I., 2017. Formuler avec des contraintes économiques et environnementales : l'optimum est-il le même aux échelles de l'aliment et du produit final ? JRA 2017



Dusart L., Méda B., Espagnol S., Ponchant P., Gaudré D., Wilfart A., Garcia-Launay F., 2017. Multiobjective formulation, a method to formulate eco-friendly and economic feed for monogastrics. EAAP, Tallin, Estonia, [à venir](#)



Espagnol S., Garcia-Launay F., Dusart L., Dauguet S., Gac A., Gaudré D., Méda B., Tailleux A., Wilfart A., Morin L., 2017. Multiscale influence of feedstuff availability on environmental impacts of feed. EAAP, Tallin, Estonia, [à venir](#)



Espagnol, S., Garcia-Launay F., Méda B., Gaudré D., Wilfart A., Ponchant P., Dusart L., 2017. Environmental impacts of different innovative feeding strategies in pig and broiler farms. EAAP, Tallin, Estonia, [à venir](#)



Espagnol, S., Garcia-Launay F., Méda B., Gaudré D., Wilfart A., Ponchant P., Dusart L., 2018. Environmental impacts of different innovative feeding strategies in pig and broiler farms, Journée de la recherche porcine, [à venir](#)



9.4. Articles à comité de lecture

Wilfart A., Espagnol S., Dauguet S., Tailleux A., Willman S., Laustriat M., Magnin M. Gac A., Garcia-Launay F., 2016-17. ECOALIM: a Database of the Environmental Impacts of Feed Ingredients Utilized for Animal Production. Revue à comité de lecture PlosOne



Wilfart A., Dusart L., Méda B., Gac A., Espagnol S., Morin L., Garcia-Launay F., 2017. Réduire les impacts environnementaux des aliments pour les animaux d'élevage. INRA productions animales, **à paraître**.



9.5. Article techniques

Garcia-Launay F., Espagnol S., 2017. Des éco-aliments pour réduire les impacts du porc. Techporc, **à paraître**



Espagnol S., Wilfart A., 2016. Des données pour produire des aliments du bétail écologiques. Revue technique Techporc



Dusart L., Garcia-Launay F., Wilfart A., Méda B., Bouvarel I., Espagnol S., 2016. Formuler l'aliment autrement - Démonstration de l'intérêt de la formulation multi-objectif pour réduire l'impact environnemental de la production de poulets de chair. TEMA



10. Suite(s) envisageable(s) hors valorisation

La dynamique sur ECOALIM sera maintenue :

- Dans le cadre d'AGRIBALYSE pour la production de nouvelles données ECOALIM
- Au sein des instuts techniques en ce qui concerne la prise en compte des données ECOALIM dans la formulation.

ANNEXE 1 : LISTE DES REUNIONS DU PROJET

1/ Comités de pilotage

Dates	Etaient présents	Ordre du jour
18 février 2013	Morgan Balin (SNIA), Tanguy Bidaud (Coop de France nutrition animale), Sophie Bertrand (Cniel), Isabelle Bouvarel (ITAVI), Sylvie Dauguet (Cetiom), Jean-Yves Dourmad (INRA UMR PEGASE), Sandrine Espagnol (IFIP), Didier Gaudré (IFIP), Afsaneh Lellahi (Arvalis), Elise Lorinquer (Institut de l'élevage), Morgane Magnin (Stagiaire IFIP), Bertrand Méda (INRA URA), Laurent Morin (Feedsim Avenir), Christophe Pinard (DGER en remplacement de Danièle Saint-Louboué), Benoit Rouillé (Institut de l'Elevage), Anne Schneider (Unip), Aurélie Tailleur (Arvalis), Hayo van der Werf (INRA UMR SAS), Maria Vilarino (Arvalis), Aurélie Wilfart (INRA UMR SAS)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Présentation du projet 2. Choix des matières premières pour lesquelles des données d'ICV et ACV sont jugées nécessaires dans le cadre du projet Eco-alim 3. Proposition de méthode d'optimisation de la formulation avec prise en compte de critères environnementaux 4. Choix des questions méthodologiques ACV à traiter dans le cadre du projet. 5. Programmation de la suite des travaux.
25 septembre 2013	Morgan Balin (SNIA), Sylvie Dauguet (CETIOM), Afsaneh Lellahi (Arvalis), Paul Ponchant (ITAVI), Danièle Saint-Louboué (DGER), Anne Schneider (UNIP), Hayo van der Werf (INRA UMR SAS), Jean-Paul Metayer (Arvalis), Isabelle Bouvarel (ITAVI), Sandrine Espagnol (IFIP), Armelle Gac (Institut de l'Elevage), Didier Gaudré (IFIP), Laurent Morin (Feedsim Avenir), Aurélie Tailleur (Arvalis), Aurélie Wilfart (INRA UMR SAS), Yves Dronne (Associé Feedsim), Hanh Nguyen (INRA UMR SAS), Sarah Willmann (Arvalis)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bref rappels sur le projet 2. Liste des MP 3. Validation de la méthode d'optimisation de la formulation 4. Base d'une méthodologie d'optimisation à l'échelle territoriale 5. Avancées du groupe méthodologie ACV 6. Points sur les travaux FAO concernant l'harmonisation méthodologique de l'empreinte carbone des aliments
25 mars 2014	Damien Beillouin (stagiaire UNIP), Isabelle Bouvarel (ITAVI), Vincent Colomb (Ademe), Sylvie Dauguet (CETIOM), Sandrine Espagnol (IFIP), Armelle Gac (Institut de l'Elevage), Florence Garcia Launay (INRA UMR PEGASE), Didier Gaudré (IFIP), Marie Laustriat (stagiaire CETIOM), Jean-Paul Metayer (Arvalis), Laurent Morin (Feedsim Avenir), Morgane Magnin (INRA UMR SAS), Maxime Musso (Feedsim Avenir), Corinne Peyronnet (Onidol), Anne Schneider (UNIP), Aurélie Tailleur (Arvalis), Aurélie Wilfart (INRA UMR SAS), Sarah Willmann (Arvalis)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Introduction sur le calendrier du projet et sur ses principales avancées 2. Présentation de la synthèse des décisions par point méthodologique travaillé 3. Présentation des avancées des ACV de MP 4. Présentation des avancées du groupe formulation / comité des utilisateurs 5. Présentation des avancées du groupe évaluation environnementale 6. Tour des autres initiatives sur la question et articulation avec ECOALIM
6 novembre 2014	Morgan Balin (SNIA), Sophie Bertrand (CNIEL), Tanguy Bidaud (Coop de France Nutrition Animale), Isabelle Bouvarel (ITAVI), Vincent Colomb (Ademe), Sylvie Dauguet (CETIOM), Léonie Dusart (INRA), Sandrine Espagnol (IFIP), Armelle Gac (Institut de l'Elevage), Florence Garcia Launay (INRA UMR PEGASE), Didier Gaudré (IFIP), François Guibert (AFCA-CIAL), Marie Laustriat	<ol style="list-style-type: none"> 1. Introduction : calendrier du projet et principales avancées 2. Présentation des résultats des ACV des MP ECOALIM 3. Positionnement ADEME sur les règles d'allocation en ACV 4. Echange sur la valorisation des données ECOALIM sur les ACV des MP

	(CDD CETIOM / Arvalis), Bertrand Méda (INRA), Jean-Paul Metayer (Arvalis), Laurent Morin (Feedsim Avenir), Morgane Magnin (INRA UMR SAS), Maxime Musso (Feedsim Avenir), Corinne Peyronnet (Onidol), Paul Ponchant (ITAVI), Thomas Turini (CIV), Hayo van der Werf (INRA UMR SAS)	<ol style="list-style-type: none"> 5. Tour de table des avancées des groupes 6. Point sur les autres initiatives sur la question des bilans environnementaux des ingrédients de l'alimentation animale et articulation avec ECOALIM : Agribalyse 2, LEAP, Bdd FAO, FEFAC environmental footprint, travaux de Feedsim Avenir
22 mai 2015	Isabelle Bouvarel (ITAVI), Vincent Colomb (Ademe), Sylvie Dauguet (CETIOM), Yves Drone (associé Feedsim), Léonie Dusart (ITAVI), Sandrine Espagnol (IFIP), Armelle Gac (Institut de l'Elevage), Florence Garcia Launay (INRA UMR PEGASE), Didier Gaudré (IFIP), Thomas Kerihuel (Avril-Sanders), Sarah Laisse (Institut de l'Elevage), Jean-Paul Metayer (Arvalis), Laurent Morin (Feedsim Avenir), Corinne Peyronnet (Onidol), Aurélie Wilfart (INRA UMR SAS)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Rappel de la méthodologie employée pour établir les rations existantes et optimisées des animaux 2. Impacts environnementaux et indicateurs complémentaires socio-économiques des rations existantes et optimisées en volaille 3. Impacts environnementaux et indicateurs complémentaires socio-économiques des rations existantes et optimisées en porc 4. Impacts environnementaux et indicateurs complémentaires socio-économiques des rations existantes et optimisées en bovin 5. Impacts environnementaux et indicateurs complémentaires socio-économiques des rations existantes et optimisées à l'échelle du territoire Grand Ouest 6. Points divers
19 janv 2016	Morgan Balin (SNIA), Sophie Bertrand (CNIEL), Vincent Colomb (Ademe), Justine Danel (Arvalis), Sylvie Dauguet (Terres Inovia), Yves Drone (associé Feedsim), Léonie Dusart (ITAVI), Sandrine Espagnol (IFIP), Philippe Faverdin (INRA UMR PEGASE), Florence Garcia Launay (INRA UMR PEGASE), Didier Gaudré (IFIP), Sarah Laisse (Institut de l'Elevage), Etienne Laffitte (INZO), Bertrand Méda (INRA URA), Jean-Paul Metayer (Arvalis), Mélanie Mireaux (CCPA), Corinne Peyronnet (Terres Univia), Aurélie Tailleur (Arvalis), Sébastien Tauty (Coop de France Nutrition Animale), Benoit Tournan (Techna), Thomas Turini (CIV), Hayo van der Werf (INRA UMR SAS), Hervé Videlot (Sanders), Aurélie Wilfart (INRA UMR SAS)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Résultats de l'optimisation environnementale de la formulation des aliments composés utilisés en alimentation animale 2. Utilisation prévue des éco-aliments dans les élevages 3. Diffusion des résultats ECOALIM (site internet, communications, Agribalyse, Bdd Européenne, ...).
10 nov 2016	Morgan Balin (SNIA), Sophie Bertrand (CNIEL), Vincent Colomb (Ademe), Sylvie Dauguet (Terres Inovia), Yves Drone (associé Feedsim), Léonie Dusart (ITAVI), Sandrine Espagnol (IFIP), Florence Garcia Launay (INRA UMR PEGASE), Didier Gaudré (IFIP), Bertrand Méda (INRA URA), Jean-Paul Metayer (Arvalis), Corinne Peyronnet (Terres Univia), Aurélie Tailleur (Arvalis), Hayo van der Werf (INRA UMR SAS), Aurélie Wilfart (INRA UMR SAS)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Introduction 2. Résultats des ACV des produits animaux <ul style="list-style-type: none"> -Stratégies d'alimentation innovantes évaluées à l'échelle des produits animaux -Méthodologie ACV utilisée -Résultats -Filière par filière -Grand Ouest 3. Messages clés du projet

		4. Nouvelles valorisations des résultats du projet 5. Rapports finaux
--	--	--

2/ Groupe méthodologie ACV

Date de réunion	Points à l'ordre du jour
13 mai 2013	Bibliographie sur questions méthodologiques Définition de scénarios pour tests questions méthodologiques Point sur les guides ACV disponibles et choix d'une méthode par défaut à utiliser en attendant la méthode ECOALIM Poursuite discussion et choix sur le grain des données MP (région ou ITK) et type de données à utiliser pour la réalisation des ICV (données statistiques, données à dire d'experts)
16 décembre 2013	Présentation des résultats intermédiaires des tests questions méthodologiques proposition organisation guides
18 février 2014	Tests Ecoalim : état des lieux - Test modèles émissions azotées, où en est-on ? Quel(s) modèle(s) retient-on ? - Test allocation succession culturelle P - Test allocations succession culturelle (NO3- ; résidus) Points sur le travail des CDD Synthèse impacts locaux Choix des modèles de caractérisation Travaux sur les inventaires AGRIBALYSE - Utilisation d'Ecoinvent v3 versus v2 - Modèle érosion AGRIBALYSE - NO/NOx

3/ Groupe Formulation d'ECOALIM et comité des utilisateurs

Date de réunion	Points à l'ordre du jour
6 mars 2013	Modèles d'approvisionnement en MP des fabricants d'aliments
4 juin 2013	Format données ACV produites pour les MP qui entrent dans l'alimentation animale Point sur les process de production des MP non végétales Cas des données ACV des MP importées Réactions du comité à la proposition de liste de MP à traiter dans le cadre d'ECOALIM Point sur les besoins de validations du comité extraits du stage de Morgane Magnin
20 septembre 2013	Liste de prix de MP Types de production et implantation des usines de fabrication d'aliments Type d'aliment Matrice de formulation des aliments
8 novembre 2013	Liste des MP sans contacts Onglets : valeurs MP, Contraintes MP, Usine, prix MP
14 février 2014	Contraintes nutritionnelles et MP des aliments porcs et volailles. Construction des modèles d'approvisionnement des usines d'aliments.
27 février 2014	Construction des scénarios de transport. Calage du référentiel de prix communs.
3 décembre 2014	Validation des scénarios de transports et des méthodes de formulation pour les rations existantes.
15 décembre 2014	Point avec le groupe méthodologie sur le choix des indicateurs à considérer pour l'optimisation environnementale des l'étape formulation.

4/ Groupe évaluation environnementale

Date de réunion	Points à l'ordre du jour
26 septembre 2013	Points sur les systèmes végétaux et animaux évalués dans ECOALIM : type de systèmes, démarche de construction (stats, dire d'expert...), renseignement, ... Fiches type de description des systèmes Mobilisation des données intrants alimentaires dans les systèmes d'élevages
27 septembre 2014	Construction du calculateur Excel des ACV des produits animaux
25 mars 2014	Points sur les systèmes végétaux et animaux : choix des systèmes, modalités de construction (stats, dire d'expert...) Fiches type de description des systèmes Evaluation environnementale des systèmes d'élevage : mobilisation des données intrants alimentaires, approche atelier / système
28 octobre 2014	Avancées concernant la construction du calculateur Excel des ACV des produits animaux. <ul style="list-style-type: none"> - Rappel du cahier des charges du calculateur - Modèles d'émissions Elevage - Prise en compte de la composition des aliments sur les modèles d'émissions - Paramètres communs des calculateurs - Format de restitution du groupe formulation pour le groupe évaluation environnementale – partie élevages
30 novembre 2015	Point sur le calculateur des ACV des produits animaux
7 juillet 2016	Liste des scénarios à évaluer à l'échelle des produits animaux
17 octobre 21016	Liste des ACV des produits animaux dans ECOALIM et priorités pour le CP du 10/11/2016

ANNEXE 2 : LISTE DES MATIERES PREMIERES TRAITÉES DANS ECOALIM

Familles des matières premières destinées aux animaux d'élevage	Matières premières (1/7)	Périmètre	Donnée moyenne ou déclinaison	Partenaire producteur de la donnée
Acides aminés industriels	DL-méthionine, Europe, sortie usine fabrication	sortie usine	Donnée moyenne	INRA UMR SAS
	L-lysine HCL, France, sortie usine fabrication	sortie usine	Donnée moyenne	INRA UMR SAS
	L-thréonine, France, sortie usine fabrication	sortie usine	Donnée moyenne	INRA UMR SAS
	L-tryptophane, France, sortie usine fabrication	sortie usine	Donnée moyenne	INRA UMR SAS
	Valine, France, sortie usine fabrication	sortie usine	Donnée moyenne	INRA UMR SAS
Amidon, racines et tubercules	Concentré protéique de luzerne, France, sortie usine transformation	sortie usine	Donnée moyenne	INRA UMR SAS
Autres coproduits d'origine animale	PAT Farine de viande porc, France, sortie usine transformation	sortie usine	Donnée moyenne	INRA UMR SAS
	PAT Farine de viande volaille, France, sortie usine transformation	sortie usine	Donnée moyenne	INRA UMR SAS
Autres coproduits d'origine végétale	Betterave, conventionnelle, France, sortie champ	sortie champ	Donnée moyenne	ARVALIS
	Mélasses de betterave, France, sortie usine transformation	sortie usine	Donnée moyenne	INRA UMR SAS
	Mélasses de canne, Pakistan, rendue Port (Sète)	entrée port	Donnée moyenne	INRA UMR SAS
	Pulpe de betterave surpressée, France, sortie usine transformation	sortie usine	Donnée moyenne	INRA UMR SAS
	Pulpe de betterave déshydratée, France, sortie usine transformation	sortie usine	Donnée moyenne	INRA UMR SAS
	Vinasse de betterave, France, sortie usine transformation	sortie usine	Donnée moyenne	INRA UMR SAS
Céréales	Avoine, conventionnelle, France, sortie champ	sortie champ	Donnée moyenne	ARVALIS
	Avoine, conventionnelle, France, sortie OS	sortie OS	Donnée moyenne	ARVALIS
	Blé tendre, conventionnel, France, sortie champ	sortie champ	Donnée moyenne	ARVALIS
	Blé tendre, conventionnel, France, sortie OS	sortie OS	Donnée moyenne	ARVALIS
	Blé tendre, conventionnel, France, levier couverture interculture, sortie OS	sortie OS	Déclinaison	ARVALIS
	Blé tendre, conventionnel, France, levier fertilisation organique, sortie OS	sortie OS	Déclinaison	ARVALIS
	Blé tendre, conventionnel, France, levier introduction de légumineuse, sortie OS	sortie OS	Déclinaison	ARVALIS
	Blé tendre, conventionnel, Grance Bretagne, sortie Champ	sortie champ	Donnée moyenne	INRA UMR SAS
	Blé tendre, conventionnel, Grance Bretagne, sortie OS	sortie OS	Donnée moyenne	INRA UMR SAS
	Blé tendre, conventionnel, Grance Bretagne, rendu port (le Havre)	entrée port	Donnée moyenne	INRA UMR SAS
	Maïs humide (28% humidité), conventionnel, France, sortie champ	sortie champ	Donnée moyenne	ARVALIS

Familles des matières premières destinées aux animaux d'élevage	Matières premières (2/7)	Périmètre	Donnée moyenne ou déclinaison	Partenaire producteur de la donnée
Céréales (suite)	Maïs, conventionnel, France, sortie OS	sortie OS	Donnée moyenne	ARVALIS
	Maïs, conventionnel, France, levier couverture interculture, sortie OS	sortie OS	Déclinaison	ARVALIS
	Maïs, conventionnel, France, levier fertilisation organique, sortie OS	sortie OS	Déclinaison	ARVALIS
	Maïs, conventionnel, France, levier introduction de légumineuse, sortie OS	sortie OS	Déclinaison	ARVALIS
	Orge, conventionnelle, France, sortie champ	sortie champ	Donnée moyenne	ARVALIS
	Orge, conventionnelle, France, sortie OS	sortie OS	Donnée moyenne	ARVALIS
	Orge, conventionnelle, France, levier couverture interculture, sortie OS	sortie OS	Déclinaison	ARVALIS
	Orge, conventionnelle, France, levier fertilisation organique, sortie OS	sortie OS	Déclinaison	ARVALIS
	Orge, conventionnelle, France, levier introduction de légumineuse, sortie OS	sortie OS	Déclinaison	ARVALIS
	Sorgho, conventionnel, France, sortie champ	sortie champ	Donnée moyenne	ARVALIS
	Sorgho, conventionnel, France, sortie OS	sortie OS	Donnée moyenne	ARVALIS
	Sorgho, conventionnel, USA, sortie champ	sortie champ	Donnée moyenne	INRA UMR SAS
	Sorgho, conventionnel, USA, sortie OS	sortie OS	Donnée moyenne	INRA UMR SAS
	Sorgho, conventionnel, USA, rendu port (Brest)	entrée port	Donnée moyenne	INRA UMR SAS
	Triticale, conventionnelle, France, sortie champ	sortie champ	Donnée moyenne	ARVALIS
	Triticale, conventionnelle, France, sortie OS	sortie OS	Donnée moyenne	ARVALIS
Coproduits du blé	Drêches de distillerie de blé, France, sortie usine transformation	sortie usine	Donnée moyenne	INRA UMR SAS
	Farine basse de blé tendre, France, sortie usine transformation	sortie usine	Donnée moyenne	INRA UMR SAS
	Gluten feed de blé, amidon 25% sur brut, France, sortie usine transformation	sortie usine	Donnée moyenne	INRA UMR SAS
	Gluten feed de blé, amidon 28% sur brut, France, sortie usine transformation	sortie usine	Donnée moyenne	INRA UMR SAS
	Remoulage blanc de blé tendre, France, sortie usine de transformation	sortie usine	Donnée moyenne	INRA UMR SAS
	Remoulage demi-blanc de blé tendre, France, sortie usine de transformation	sortie usine	Donnée moyenne	INRA UMR SAS
	Son de blé tendre, France, sortie usine transformation	sortie usine	Donnée moyenne	INRA UMR SAS

Familles des matières premières destinées aux animaux d'élevage	Matières premières (3/7)	Périmètre	Donnée moyenne ou déclinaison	Partenaire producteur de la donnée
Coproduits du maïs	Corn gluten feed, France, sortie usine transformation	sortie usine	Donnée moyenne	INRA UMR SAS
	Drêches et solubles de distillerie de maïs, France, sortie usine transformation	sortie usine	Donnée moyenne	INRA UMR SAS
	Drêches et solubles de distillerie de maïs, USA, rendu port (Brest)	entrée port	Donnée moyenne	INRA UMR SAS
	Gluten 60, France, sortie usine transformation	sortie usine	Donnée moyenne	INRA UMR SAS
	Tourteau de germes de maïs deshuilé, France, sortie usine transformation	sortie usine	Donnée moyenne	INRA UMR SAS
	Tourteau de germes de maïs expeller, France, sortie usine transformation	sortie usine	Donnée moyenne	INRA UMR SAS
Coproduits IAA	Coproduits biscuiterie, France, sortie usine transformation	sortie usine	Donnée moyenne	INRA UMR SAS
	Coproduits pain, France, sortie usine transformation	sortie usine	Donnée moyenne	INRA UMR SAS
Corps gras	Saindoux, France, sortie usine transformation	sortie usine	Donnée moyenne	INRA UMR SAS
	Suif, France, sortie usine transformation	sortie usine	Donnée moyenne	INRA UMR SAS
	Huile de colza, France, sortie usine trituration	sortie usine	Donnée moyenne	TERRES INOVIA
	Huile de colza, France, colza associé, sortie usine transformation	sortie usine	Déclinaison	TERRES INOVIA
	Huile de colza, France, levier couverture interculture, sortie usine transformation	sortie usine	Déclinaison	TERRES INOVIA
	Huile de colza, France, levier fertilisation organique, sortie usine transformation	sortie usine	Déclinaison	TERRES INOVIA
	Huile de colza, France, levier introduction de légumineuse, sortie usine transformation	sortie usine	Déclinaison	TERRES INOVIA
	Huile de palme, Malaisie, associée à la déforestation, triturée Malaisie, sortie usine trituration	sortie usine	Déclinaison	INRA UMR SAS
	Huile de palme, Malaisie, associée à la déforestation, triturée Malaisie, rendue port (Sète)	entrée port	Déclinaison	INRA UMR SAS
	Huile de palme, Malaisie, déforestation moyenne, triturée Malaisie, sortie usine trituration	sortie usine	Donnée moyenne	INRA UMR SAS
	Huile de palme, Malaisie, déforestation moyenne, triturée Malaisie, rendue port (Sète)	entrée port	Donnée moyenne	INRA UMR SAS
	Huile de palme, Malaisie, non associée à la déforestation, triturée Malaisie, sortie usine trituration	sortie usine	Déclinaison	INRA UMR SAS
	Huile de palme, Malaisie, non associée à la déforestation, rendue port (Sète)	entrée port	Déclinaison	INRA UMR SAS
	Huile de soja, Brésil, associée à la déforestation, triturée Brésil, rendue port (Brest)	entrée port	Déclinaison	INRA UMR SAS

Familles des matières premières destinées aux animaux d'élevage	Matières premières (4/7)	Périmètre	Donnée moyenne ou déclinaison	Partenaire producteur de la donnée
Corps gras (suite)	Huile de soja, Brésil, associée à la déforestation, triturée Brésil, sortie usine trituration	sortie usine	Déclinaison	INRA UMR SAS
	Huile de soja, Brésil, associée à la déforestation, triturée France, sortie usine trituration	sortie usine	Déclinaison	INRA UMR SAS
	Huile de soja, Brésil, déforestation moyenne, triturée Brésil, rendue port (Brest)	entrée port	Donnée moyenne	INRA UMR SAS
	Huile de soja, Brésil, déforestation moyenne, triturée Brésil, sortie usine trituration	sortie usine	Donnée moyenne	INRA UMR SAS
	Huile de soja, Brésil, déforestation moyenne, triturée France, sortie usine trituration	sortie usine	Donnée moyenne	INRA UMR SAS
	Huile de soja, Brésil, non associée à la déforestation, triturée au Brésil, rendue port (Brest)	entrée port	Déclinaison	INRA UMR SAS
	Huile de soja, Brésil, non associée à la déforestation, triturée Brésil, sortie usine trituration	sortie usine	Déclinaison	INRA UMR SAS
	Huile de soja, Brésil, non associée à la déforestation, trituré France, sortie usine trituration	sortie usine	Déclinaison	INRA UMR SAS
	Huile de tournesol, France, faible décorticage (type 32%MAT tourteau), sortie usine trituration	sortie usine	Déclinaison	TERRES INOVIA
	Huile de tournesol, France, fort décorticage (type 36% MAT tourteau), sortie usine trituration	sortie usine	Déclinaison	TERRES INOVIA
	Huile de tournesol, France, sans décorticage, levier couverture interculture, sortie usine transformation	sortie usine	Déclinaison	TERRES INOVIA
	Huile de tournesol, France, sans décorticage, levier fertilisation organique, sortie usine transformation	sortie usine	Déclinaison	TERRES INOVIA
	Huile de tournesol, France, sans décorticage, levier introduction de légumineuse, sortie usine transformation	sortie usine	Déclinaison	TERRES INOVIA
	Huile de tournesol, France, sans décorticage, sortie usine trituration	sortie usine	Déclinaison	TERRES INOVIA
Fourrages deshydratés	Ensilage maïs plante entière, France, sortie champ	sortie champ	Donnée moyenne	ARVALIS
	Ensilage sorgho, France, sortie champ	sortie champ	Donnée moyenne	ARVALIS
	Luzerne déshydratée, France, entrée usine aliment	entrée usine	Donnée moyenne	INRA UMR SAS
	Paille blé tendre, France, sortie champ	sortie champ	Donnée moyenne	ARVALIS
	Paille orge, France, sortie champ	sortie champ	Donnée moyenne	ARVALIS
	Paille triticales, France, sortie champ	sortie champ	Donnée moyenne	ARVALIS

Familles des matières premières destinées aux animaux d'élevage	Matières premières (5/7)	Périmètre	Donnée moyenne ou déclinaison	Partenaire producteur de la donnée
Graines protéagineuses et oléagineuses	Féverole, à fleurs blanches, France, sortie champ	sortie champ	Donnée moyenne	TERRES INOVIA
	Féverole, à fleurs colorées, France, sortie champ	sortie champ	Donnée moyenne	TERRES INOVIA
	Féverole, France, sortie OS	sortie OS	Donnée moyenne	TERRES INOVIA
	Féverole décortiquée, France, sortie usine transformation	sortie usine	Donnée moyenne	TERRES INOVIA
	Graine de colza, conventionnelle, France, sortie champ	sortie champ	Donnée moyenne	TERRES INOVIA
	Graine de colza, conventionnelle, France, sortie OS	sortie OS	Donnée moyenne	TERRES INOVIA
	Graine de colza, conventionnelle, France, couvert associé, sortie OS	sortie OS	Déclinaison	TERRES INOVIA
	Graine de colza, conventionnelle, France, levier couverture interculture, sortie OS	sortie OS	Déclinaison	TERRES INOVIA
	Graine de colza, conventionnelle, France, levier fertilisation organique, sortie OS	sortie OS	Déclinaison	TERRES INOVIA
	Graine de colza, conventionnelle, France, levier introduction de légumineuse, sortie OS	sortie OS	Déclinaison	TERRES INOVIA
	Graine de lin, conventionnelle, France, sortie champ	sortie champ	Donnée moyenne	TERRES INOVIA
	Graine de lin, conventionnelle, France, sortie OS	sortie OS	Donnée moyenne	TERRES INOVIA
	Graine de tournesol, conventionnelle, France, sortie champ	sortie champ	Donnée moyenne	TERRES INOVIA
	Graine de tournesol, conventionnelle, France, sortie OS	sortie OS	Donnée moyenne	TERRES INOVIA
	Graine de Tournesol, conventionnelle, France, levier couverture interculture, sortie OS	sortie OS	Déclinaison	TERRES INOVIA
	Graine de Tournesol, conventionnelle, France, levier fertilisation organique, sortie OS	sortie OS	Déclinaison	TERRES INOVIA
	Graine de Tournesol, conventionnelle, France, levier introduction de légumineuse, sortie OS	sortie OS	Déclinaison	TERRES INOVIA
	Graines de soja extrudées, Brésil, extrusion en France, sortie usine transformation	sortie usine	Donnée moyenne	INRA UMR SAS
	Graines de soja toastées, Brésil, toastage en France, sortie usine transformation	sortie usine	Donnée moyenne	INRA UMR SAS
	Graines de soja, France, sortie champ	sortie champ	Donnée moyenne	TERRES INOVIA
	Graines de soja, France, sortie OS	sortie OS	Donnée moyenne	TERRES INOVIA
	Graines de soja extrudées, France, sortie usine transformation	sortie usine	Donnée moyenne	TERRES INOVIA
	Pois, conventionnel, France, sortie champ	sortie champ	Donnée moyenne	TERRES INOVIA
Pois, conventionnel, France, sortie OS	sortie OS	Donnée moyenne	TERRES INOVIA	

Familles des matières premières destinées aux animaux d'élevage	Matières premières (6/7)	Périmètre	Donnée moyenne ou déclinaison	Partenaire producteur de la donnée
Sources d'apport minéral	Bicarbonate de sodium, Europe, sortie usine fabrication	sortie usine	Donnée moyenne	INRA UMR SAS
	Carbonate de calcium <63µm, Europe, sortie usine fabrication	sortie usine	Donnée moyenne	INRA UMR SAS
	Carbonate de calcium >63µm, Europe, sortie usine fabrication	sortie usine	Donnée moyenne	INRA UMR SAS
	Oxyde de magnésium, France, sortie usine fabrication	sortie usine	Donnée moyenne	INRA UMR SAS
	Phosphate bicalcique, France, sortie usine fabrication	sortie usine	Donnée moyenne	INRA UMR SAS
	Phosphate mono calcique, France, sortie usine fabrication	sortie usine	Donnée moyenne	INRA UMR SAS
	Sel, France, sortie usine fabrication	sortie usine	Donnée moyenne	INRA UMR SAS
	Sulfate de cuivre, France, sortie usine fabrication	sortie usine	Donnée moyenne	INRA UMR SAS
Produits laitiers	Lactoserum doux écrémé deshydraté, France, sortie usine transformation	sortie usine	Donnée moyenne	IDELE
Tourteaux d'oléagineux	Tourteau de colza, France, sortie usine trituration	sortie usine	Donnée moyenne	TERRES INOVIA
	Tourteau de colza, France, colza couvert associé, sortie usine transformation	sortie usine	Déclinaison	TERRES INOVIA
	Tourteau de colza, France, levier couverture interculture, sortie usine transformation	sortie usine	Déclinaison	TERRES INOVIA
	Tourteau de colza, France, levier fertilisation organique, sortie usine transformation	sortie usine	Déclinaison	TERRES INOVIA
	Tourteau de colza, France, levier introduction de légumineuse, sortie usine transformation	sortie usine	Déclinaison	TERRES INOVIA
	Tourteau de palmiste, Malaisie, associé à la déforestation, trituré Malaisie, sortie usine trituration	sortie usine	Déclinaison	INRA UMR SAS
	Tourteau de palmiste, Malaisie, associé à la déforestation, trituré Malaisie, rendu port (Sète)	entrée port	Déclinaison	INRA UMR SAS
	Tourteau de palmiste, Malaisie, déforestation moyenne, trituré Malaisie, sortie usine trituration	sortie usine	Donnée moyenne	INRA UMR SAS
	Tourteau de palmiste, Malaisie, déforestation moyenne, trituré Malaisie, rendu port (Sète)	entrée port	Donnée moyenne	INRA UMR SAS
	Tourteau de palmiste, Malaisie, non associé à la déforestation, trituré Malaisie, sortie usine trituration	sortie usine	Déclinaison	INRA UMR SAS
	Tourteau de palmiste, Malaisie, non associé à la déforestation, trituré Malaisie, rendu port (Sète)	rendu port	Déclinaison	INRA UMR SAS

Familles des matières premières destinées aux animaux d'élevage	Matières premières (7/7)	Périmètre	Donnée moyenne ou déclinaison	Partenaire producteur de la donnée
Tourteaux d'oléagineux (suite)	Tourteau de tournesol, France, (levier couverture interculture), sortie usine trituration	sortie usine	Déclinaison	TERRES INOVIA
	Tourteau de tournesol, France, (levier fertilisation organique), sortie usine trituration	sortie usine	Déclinaison	TERRES INOVIA
	Tourteau de tournesol, France, (levier introduction de légumineuse), sortie usine trituration	sortie usine	Déclinaison	TERRES INOVIA
	Tourteau soja, USA, trituré France, sortie usine trituration	sortie usine	Donnée moyenne	INRA UMR SAS
	Tourteau soja, Brésil, associé à la déforestation, trituré France, sortie usine trituration	sortie usine	Déclinaison	INRA UMR SAS
	Tourteau soja, Brésil, associé à la déforestation, trituré au Brésil, rendu port (Brest)	entrée port	Déclinaison	INRA UMR SAS
	Tourteau soja, Brésil, associé à la déforestation, trituré au Brésil, sortie usine trituration	sortie usine	Déclinaison	INRA UMR SAS
	Tourteau soja, Brésil, déforestation moyenne, trituré au Brésil, rendu port (Brest)	entrée port	Donnée moyenne	INRA UMR SAS
	Tourteau soja, Brésil, déforestation moyenne, trituré Brésil, sortie usine trituration	sortie usine	Donnée moyenne	INRA UMR SAS
	Tourteau soja, Brésil, déforestation moyenne, trituré France, sortie usine trituration	sortie usine	Donnée moyenne	INRA UMR SAS
	Tourteau soja, Brésil, non associé à la déforestation, trituré au Brésil, rendu port (Brest)	entrée port	Déclinaison	INRA UMR SAS
	Tourteau soja, Brésil, non associé à la déforestation, trituré Brésil, sortie usine trituration	sortie usine	Déclinaison	INRA UMR SAS
	Tourteau soja, Brésil, non associé à la déforestation, trituré France, sortie usine trituration	sortie usine	Déclinaison	INRA UMR SAS
	Tourteau tournesol, Mer Noire, rendu port (Sète)	entrée port	Donnée moyenne	INRA UMR SAS
	Tourteau tournesol décortiqué, France, (36% MAT type Bassens), sortie usine trituration	sortie usine	Déclinaison	TERRES INOVIA
	Tourteau tournesol non décortiqué, France, sortie usine trituration	sortie usine	Donnée moyenne	TERRES INOVIA
	Tourteau tournesol partiellement décortiqué, France, sortie usine trituration	sortie usine	Donnée moyenne	TERRES INOVIA
Tourteau de lin expeller, France, sortie usine trituration	sortie usine	Donnée moyenne	TERRES INOVIA	
Vitamine	Vitamine E, A ou D ou mix, France, sortie usine fabrication	sortie usine	Donnée moyenne	INRA UMR SAS

ANNEXE 3 : RESULTATS DETAILLES DE L'OPTIMISATION ENVIRONNEMENTALE DE LA FORMULATION DES ALIMENTS

1/ Résultats porcs

Étape 1 : Aliments de références

✓ Stratégie biphasé

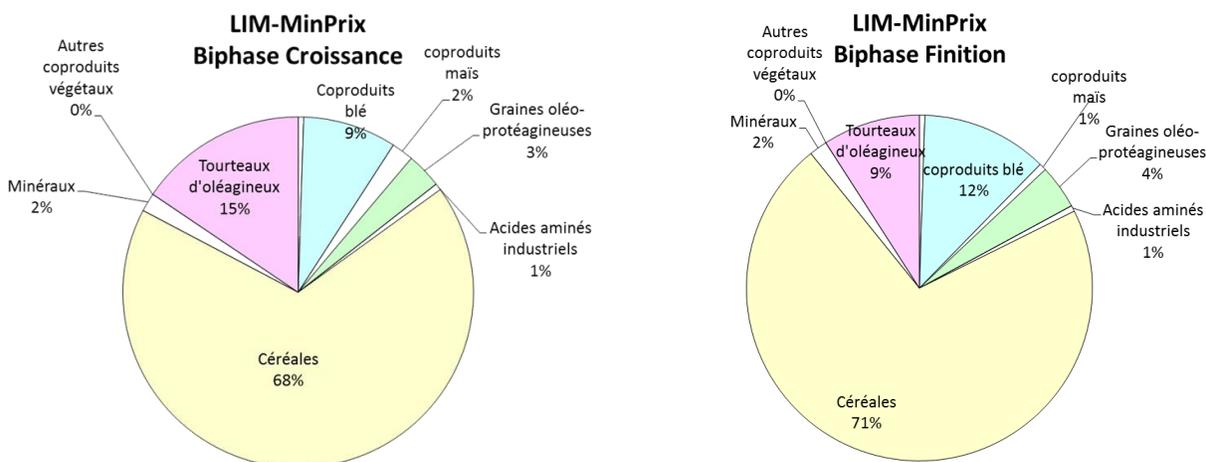


Figure 46 : Composition des aliments engraissement croissance et finition optimisés sur le prix avec des disponibilités en matières premières limitées (contexte actuel) et pour le scénario d'approvisionnement Grand Ouest

Tableau 38 : Impacts environnementaux des aliments engraissement porc formulés sur le prix avec des disponibilités en matières premières limitées (contexte actuel) et pour le scénario d'approvisionnement Grand Ouest

Impacts	Méthode	Unité (par tonne)	Année			
			2011	2012	2013	2014
Consommation de Phosphore		Kg P	3.69	3.30	3.87	3.19
Consommation d'énergie non renouvelable		MJ	4365	4629	4272	5461
Emission de GES	ILCD	Kg CO2 eq.	472	456	477	496
Acidification	ILCD	molc H+ eq.	9.69	9.05	9.40	10.19
Eutrophisation	CML	kg PO4--- eq.	3.57	3.67	3.70	3.68
Utilisation des terres		m2a	1384	1519	1450	1373
<i>Eutrophisation terrestre</i>	<i>ILCD</i>	<i>molc N eq.</i>	<i>40.55</i>	<i>37.73</i>	<i>39.30</i>	<i>42.37</i>
<i>Eutrophisation eau douce</i>	<i>ILCD</i>	<i>kg P eq.</i>	<i>0.14</i>	<i>0.17</i>	<i>0.15</i>	<i>0.19</i>
<i>Eutrophisation marine</i>	<i>ILCD</i>	<i>kg N eq.</i>	<i>5.16</i>	<i>5.37</i>	<i>5.47</i>	<i>4.78</i>
<i>Acidification</i>	<i>CML</i>	<i>kg SO2 eq.</i>	<i>5.78</i>	<i>5.43</i>	<i>5.63</i>	<i>6.06</i>

Réchauffement climatique	CML	kg CO2 eq.	472	456	477	496
Consommation d'énergie totale		MJ	4412	4703	4328	5531
GES sans changement d'utilisation des terres		kg CO2 eq.	457	439	461	479

Tableau 39 : Impacts environnementaux des aliments engraissement porc formulés sur le prix avec des disponibilités en matières premières élargies (scénario prospectif) et pour le scénario d'approvisionnement Grand Ouest

Impacts	Méthode	Unité (par tonne)	Année			
			2011	2012	2013	2014
Consommation de Phosphore		Kg P	3.77	3.20	3.98	3.47
Consommation d'énergie non renouvelable		MJ	4323	3975	4286	4933
Emission de GES	ILCD	Kg CO2 eq.	467	387	466	479
Acidification	ILCD	molc H+ eq.	9.12	6.47	8.47	9.29
Eutrophisation	CML	kg PO4--- eq.	3.58	3.47	3.61	3.69
Utilisation des terres		m2a	1453	1641	1562	1557
Eutrophisation terrestre	ILCD	molc N eq.	38.04	26.77	35.13	38.51
Eutrophisation eau douce	ILCD	kg P eq.	0.16	0.17	0.18	0.20
Eutrophisation marine	ILCD	kg N eq.	5.21	5.45	5.32	5.17
Acidification	CML	kg SO2 eq.	5.48	3.96	5.13	5.58
Réchauffement climatique	CML	kg CO2 eq.	467	387	466	479
Consommation d'énergie totale		MJ	4397	4154	4420	5052
GES sans changement d'utilisation des terres		kg CO2 eq.	449	378	447	456

Tableau 40 : Comparaison des impacts environnementaux des aliments engraissement porc formulés sur le prix entre un contexte de disponibilité en matières premières limité et élargi, pour le scénario d'approvisionnement Grand Ouest

Impacts environnementaux	% ¹
Consommation de Phosphore	3
Consommation d'énergie non renouvelable	-6
Emission de GES (ILCD)	-5
Acidification (ILCD)	-13
Eutrophisation (CML)	-2
Utilisation des terres	9
Eutrophisation terrestre (ILCD)	-13
Eutrophisation eau douce (ILCD)	8
Eutrophisation marine (ILCD)	2
Acidification (CML)	-12
Réchauffement climatique	-5
Consommation d'énergie	-5
GES sans changement d'utilisation des terres	-6

¹ : augmentation ou diminution des impacts lorsque les disponibilités en matières premières deviennent élargies

Tableau 41 : Variations des impacts environnementaux des aliments au passage d'un approvisionnement Local à un approvisionnement Grand Ouest

Impacts	% ¹
Consommation de Phosphore	0
Consommation d'énergie non renouvelable	22
Emission de GES (ILCD)	12
Acidification (ILCD)	7
Eutrophisation (CML)	0
Utilisation des terres	-1
Eutrophisation terrestre (ILCD)	7
Eutrophisation eau douce (ILCD)	-3
Eutrophisation marine (ILCD)	0
Acidification (CML)	7
Réchauffement climatique	12
Consommation d'énergie	21
GES sans changement d'utilisation des terres	12

¹ : augmentation ou diminution des impacts d'un approvisionnement Local à un approvisionnement Grand-Ouest

Tableau 42 : Variations des impacts environnementaux des aliments au passage d'un approvisionnement Local à un approvisionnement Sud

Impacts	% ¹
Consommation de Phosphore	9
Consommation d'énergie non renouvelable	2
Emission de GES (ILCD)	8
Acidification (ILCD)	6
Eutrophisation (CML)	10
Utilisation des terres	9
Eutrophisation terrestre (ILCD)	6
Eutrophisation eau douce (ILCD)	4
Eutrophisation marine (ILCD)	13
Acidification (CML)	6
Réchauffement climatique	8
Consommation d'énergie	1
GES sans changement d'utilisation des terres	7

¹ : augmentation ou diminution des impacts d'un approvisionnement Local à un approvisionnement Sud

Tableau 43 : Variations des impacts environnementaux des aliments lorsque le transport des céréales et coproduits de céréales est réalisé par train

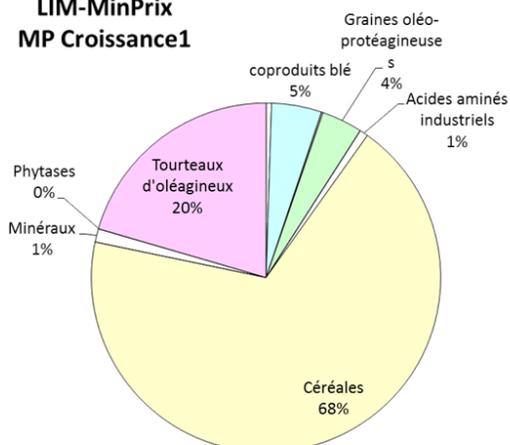
Impacts	% ¹
Consommation de Phosphore	2

Consommation d'énergie non renouvelable	-11
Emission de GES (ILCD)	-7
Acidification (ILCD)	4
Eutrophisation (CML)	-3
Utilisation des terres	-4
Eutrophisation terrestre (ILCD)	3
Eutrophisation eau douce (ILCD)	-5
Eutrophisation marine (ILCD)	-6
Acidification (CML)	3
Réchauffement climatique	-7
Consommation d'énergie	-11
GES sans changement d'utilisation des terres	-8

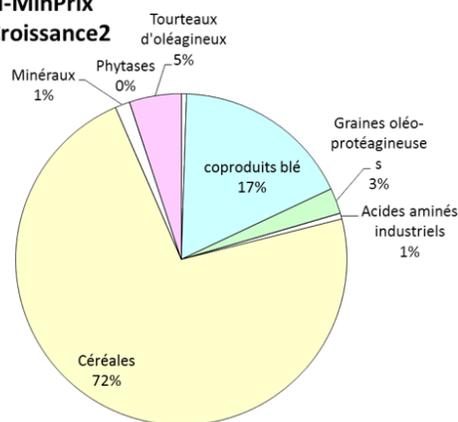
¹ : augmentation ou diminution des impacts avec l'utilisation du train pour le transport des céréales et des coproduits de céréales

✓ **Stratégie multiphase 4 aliments**

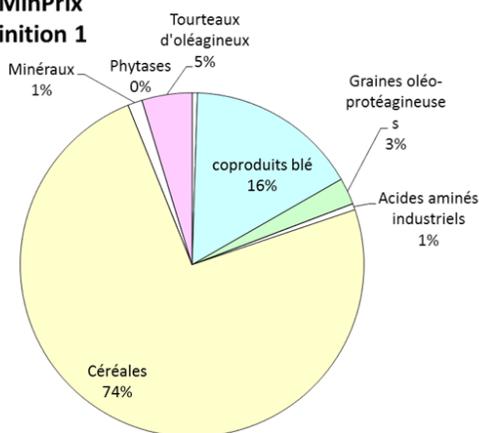
**LIM-MinPrix
MP Croissance1**



**LIM-MinPrix
MP Croissance2**



**LIM-MinPrix
MP Finition 1**



**LIM-MinPrix
MP Finition 2**

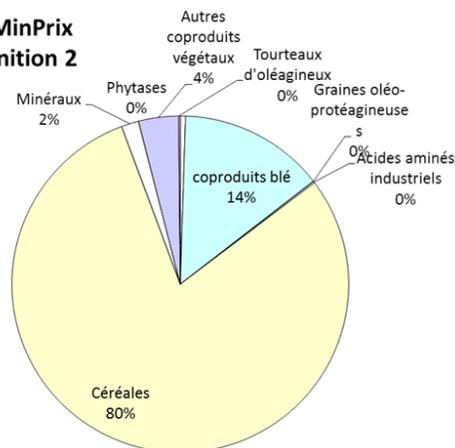


Figure 47 : Composition des aliments croissance et finition de la stratégie d'alimentation multiphase 4 aliments formulés sur le prix pour un contexte de disponibilité limitée en matières premières, pour le Grand Ouest, et pour les 4 contextes de prix

✓ **Stratégie biphase avec réduction des teneurs en énergie des aliments**

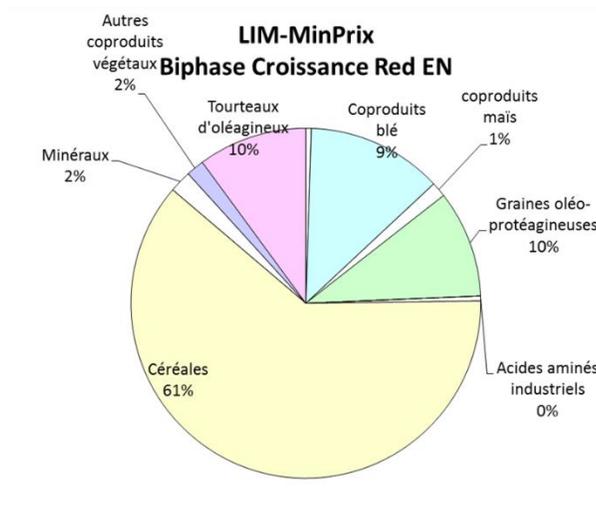


Figure 48 : Composition des aliments croissance et finition de la stratégie d'alimentation biphase RedEN

✓ **Stratégie biphase avec réduction des teneurs en acides aminés des aliments**

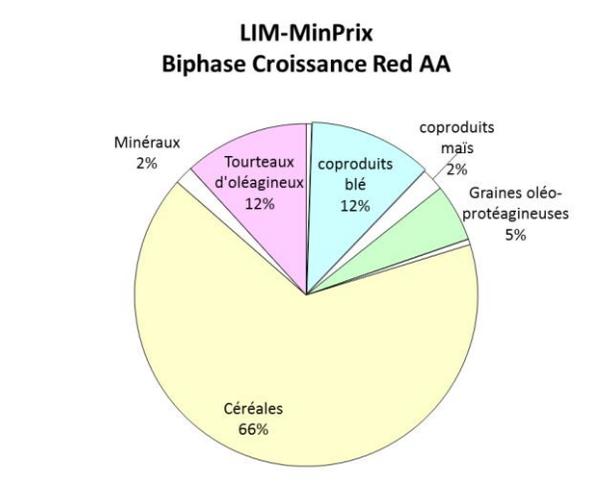


Figure 49 : Composition des aliments croissance et finition de la stratégie d'alimentation biphase RedEN

Étape 2 : Réduction des impacts environnementaux un à un

- Réduction de la consommation de phosphore (P)

Disponibilité des matières premières limitée et approvisionnement Grand Ouest

Figure 50 : Réduction de l'impact Consommation de P de l'aliment engraissement porc pas à pas et incidence sur le prix et les autres impacts environnementaux dans un contexte de disponibilité limitée en matières premières

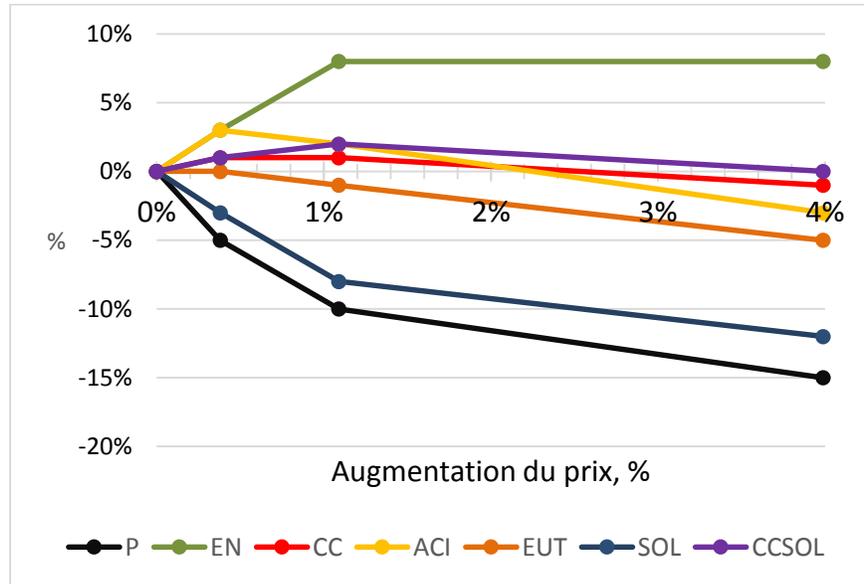


Figure 51 : Effet de la réduction de l'impact Consommation de P de l'aliment engraissement porc pas à pas sur la composition des aliments dans un contexte de disponibilité limitée en matières premières

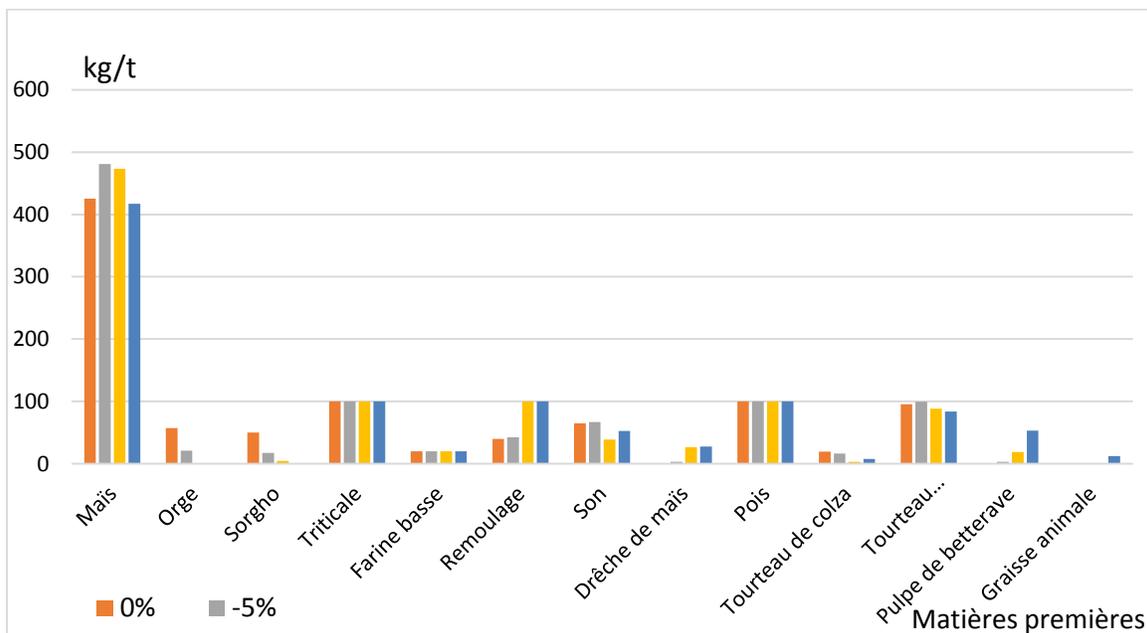


Figure 52 : Réduction de l'impact Consommation de P de l'aliment engraissement porc pas à pas et incidence sur le prix et les autres impacts environnementaux dans un contexte de disponibilité élargie en matières premières

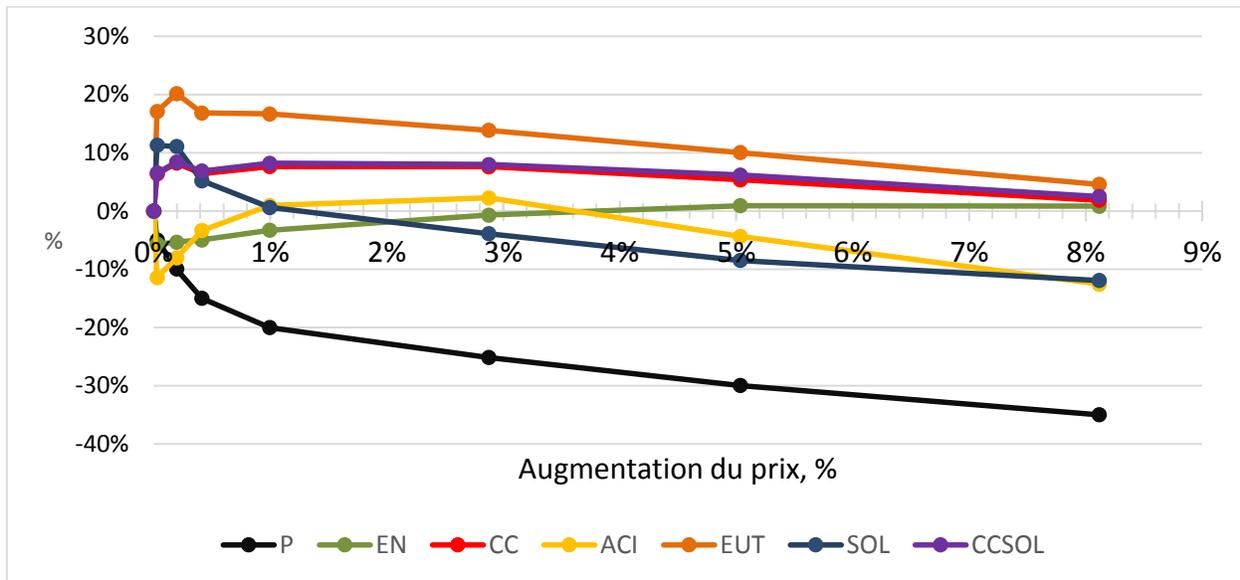
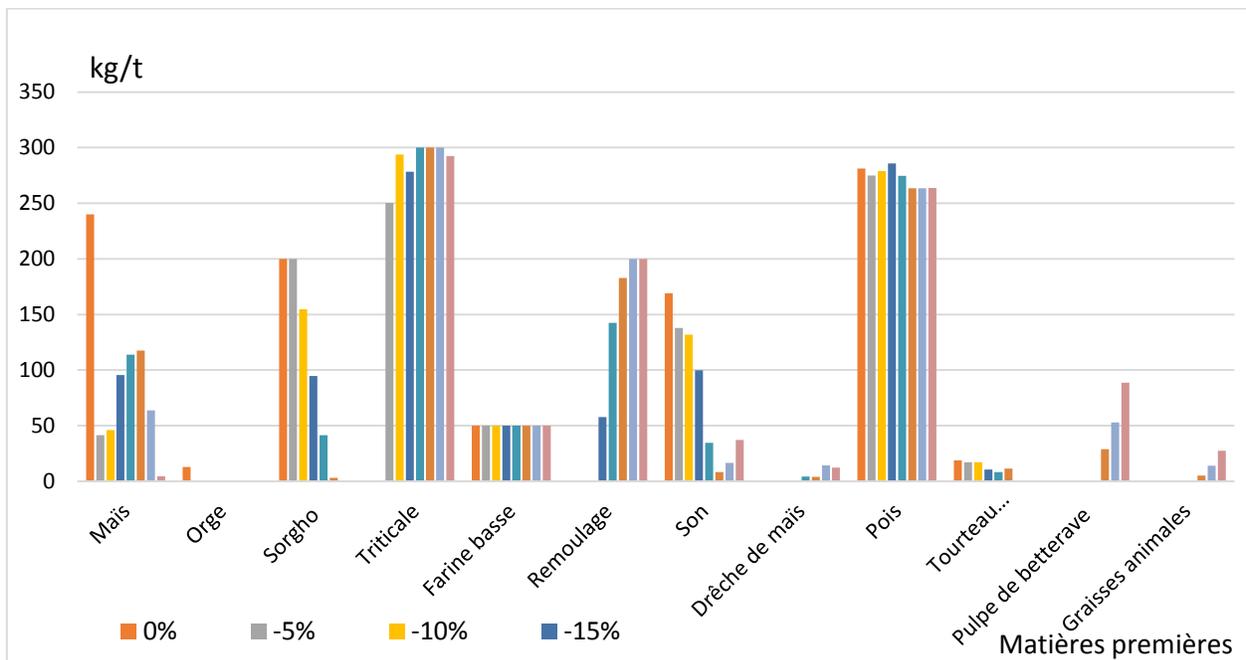


Figure 53 : Effet de la réduction de l'impact Consommation de P de l'aliment engraissement porc pas à pas sur la composition des aliments dans un contexte de disponibilité élargie en matières premières



- Réduction de la consommation d'énergie non renouvelable

Disponibilité des matières premières limitée et approvisionnement Grand Ouest

Figure 54 : Réduction de l'impact Consommation d'énergie non renouvelable de l'aliment engraissement porc pas à pas et incidence sur le prix et les autres impacts environnementaux dans un contexte de disponibilité limitée en matières premières

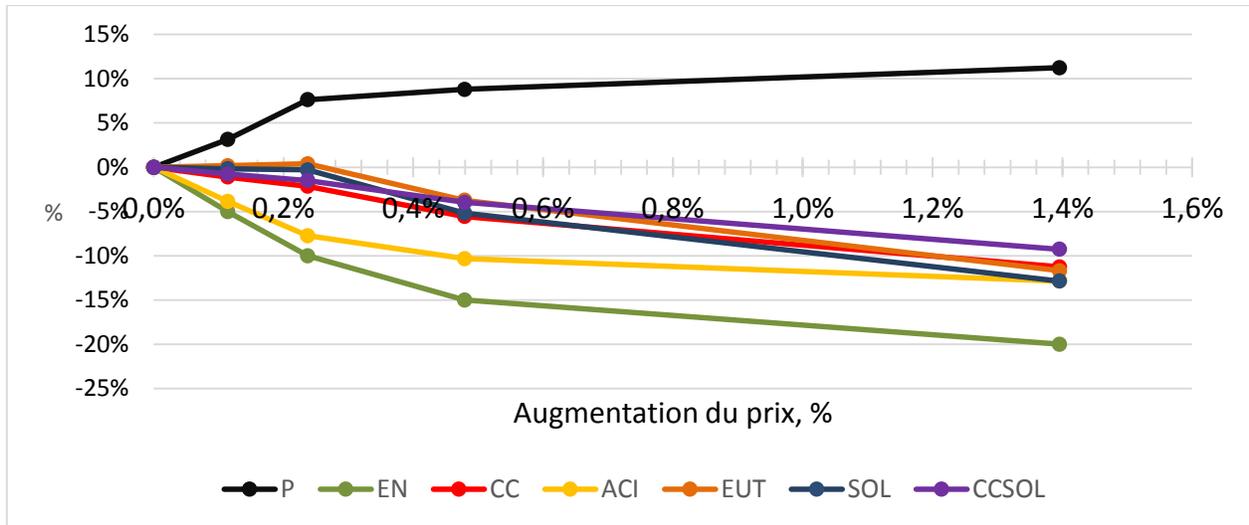


Figure 55 : Effet de la réduction de l'impact Consommation d'énergie non renouvelable de l'aliment engraissement porc pas à sur la composition des aliments dans un contexte de disponibilité limitée en matières premières

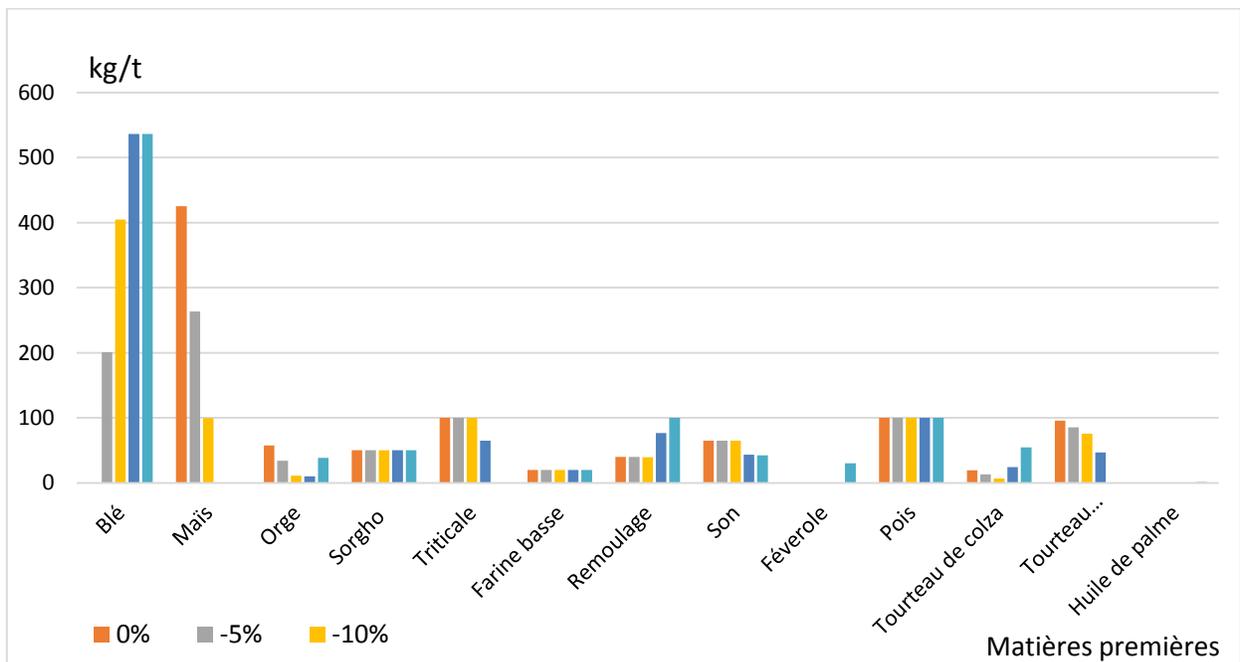


Figure 56 : Réduction de l'impact Consommation d'énergie non renouvelable de l'aliment engraissement porc pas à pas et incidence sur le prix et les autres impacts environnementaux dans un contexte de disponibilité élargie en matières premières

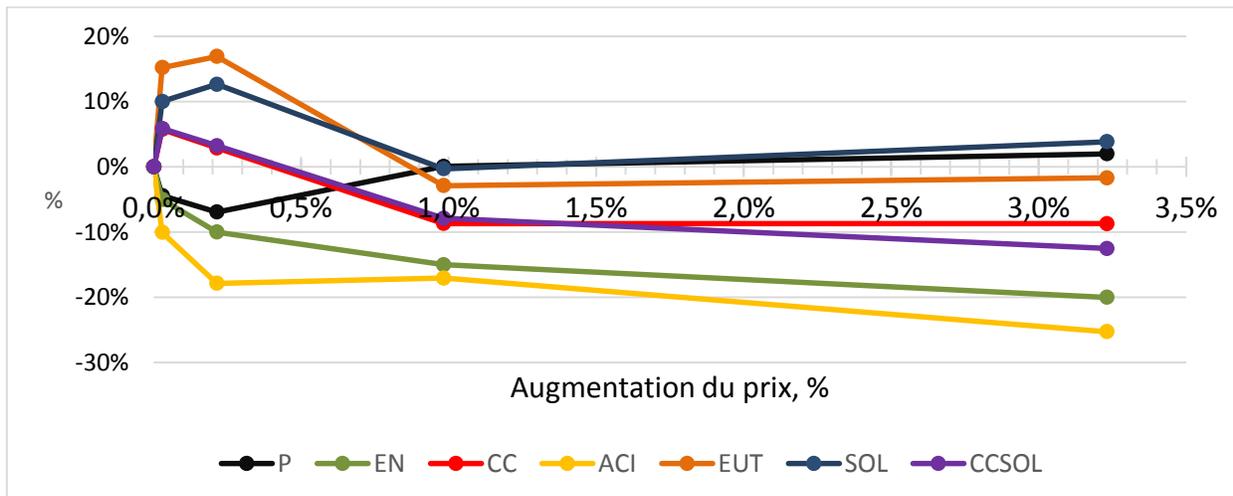
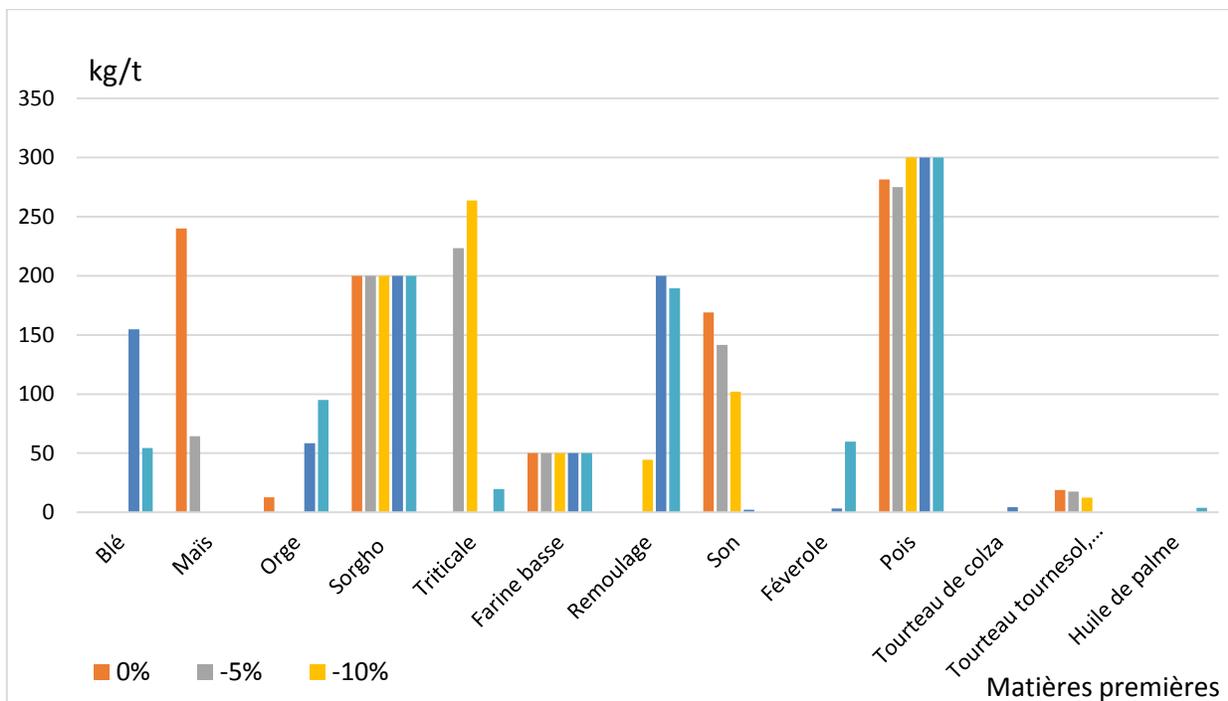


Figure 57 : Effet de la réduction de l'impact Consommation d'énergie non renouvelable de l'aliment engraissement porc pas à pas sur la composition des aliments dans un contexte de disponibilité élargie en matières premières



- Réduction de l'impact changement climatique

Disponibilité des matières premières limitée et approvisionnement Grand Ouest

Figure 58 : Réduction de l'impact Changement climatique de l'aliment engraissement porc pas à pas et incidence sur le prix et les autres impacts environnementaux dans un contexte de disponibilité limitée en matières premières

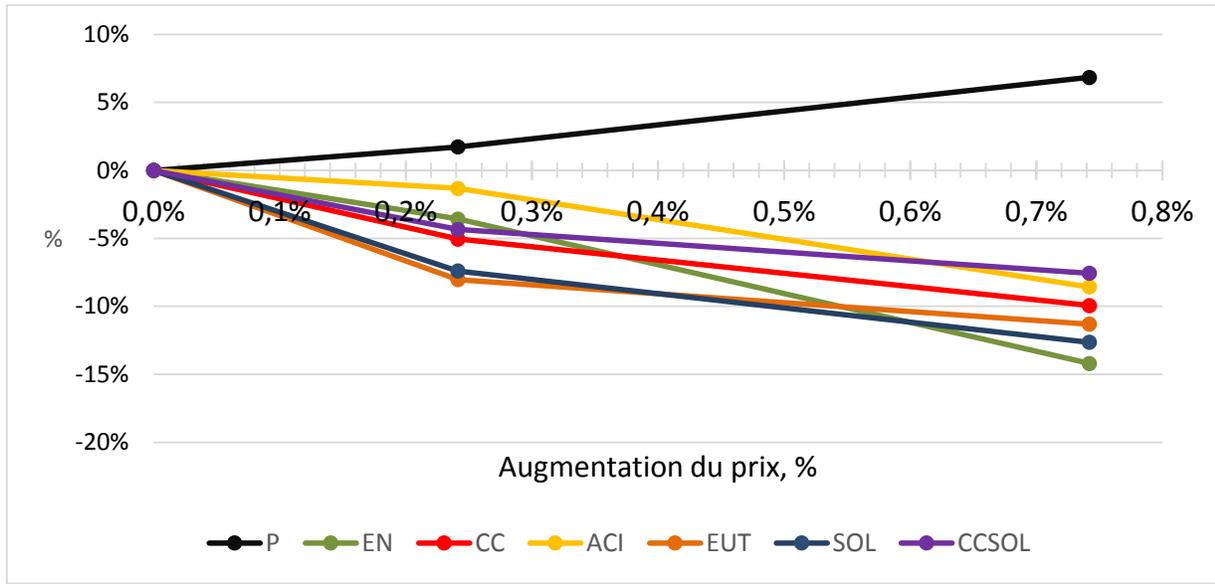


Figure 59 : Effet de la réduction de l'impact Changement climatique de l'aliment engraissement porc pas à pas sur la composition des aliments dans un contexte de disponibilité limitée en matières premières

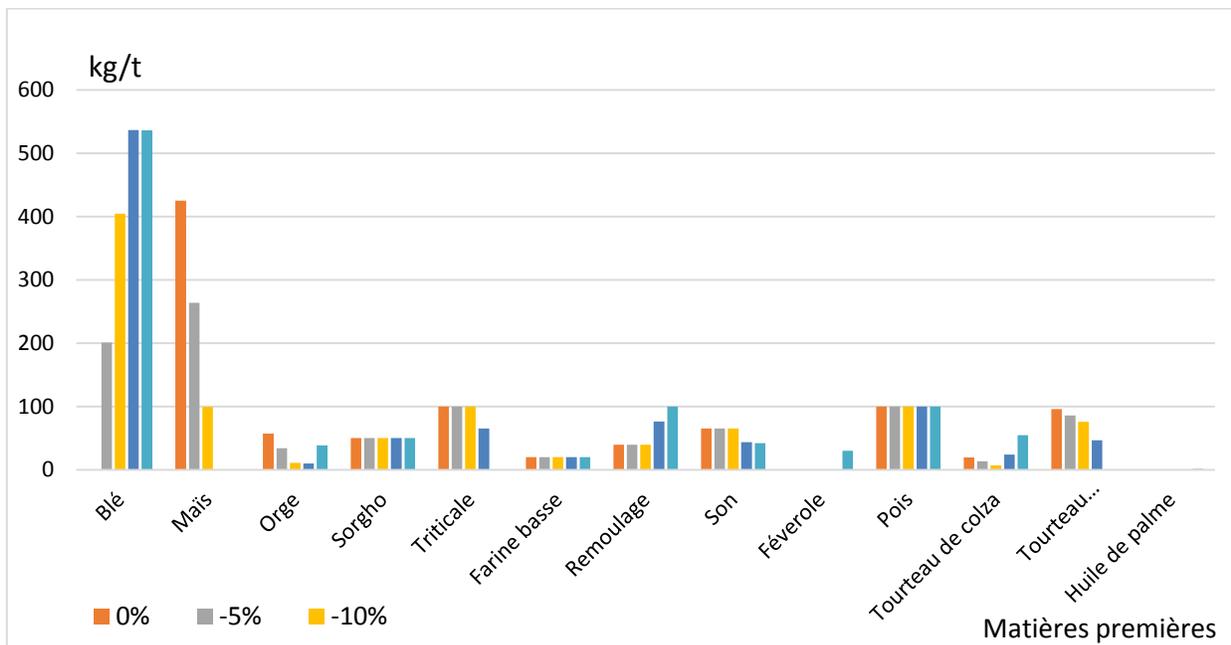


Figure 60 : Réduction de l'impact Changement climatique de l'aliment engraissement porc pas à pas et incidence sur le prix et les autres impacts environnementaux dans un contexte de disponibilité élargie en matières premières

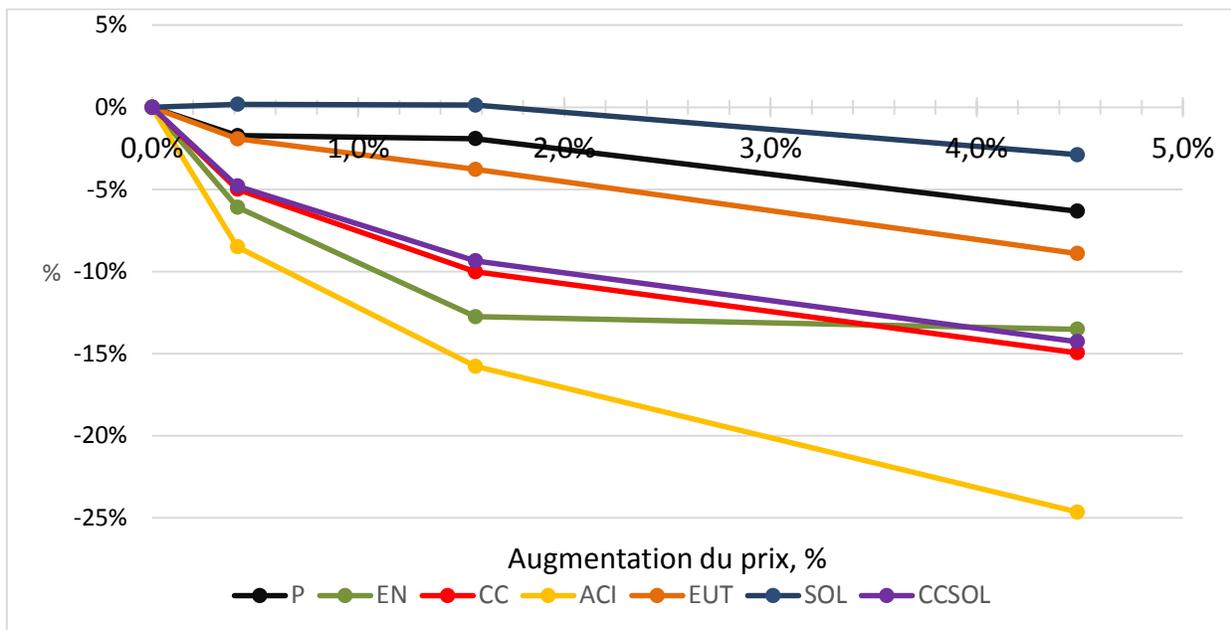
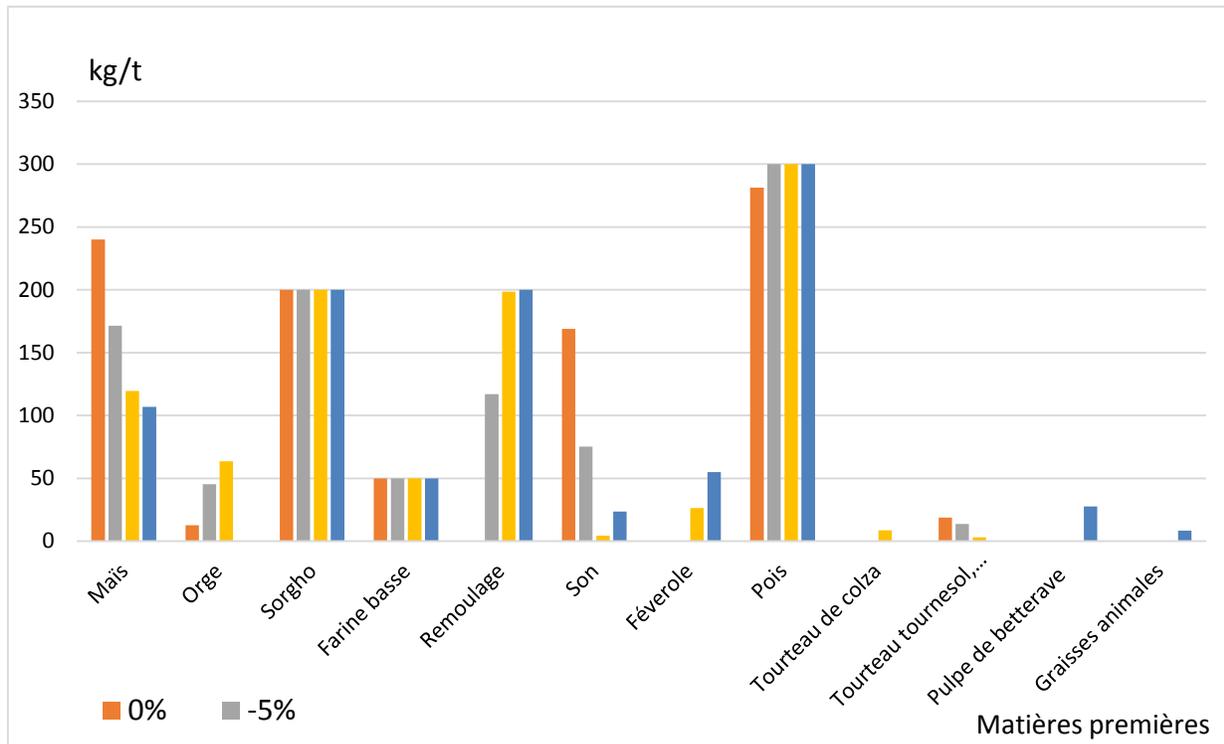


Figure 61 : Effet de la réduction de l'impact Changement climatique de l'aliment engraissement porc pas à pas sur la composition des aliments dans un contexte de disponibilité élargie en matières premières



- **Réduction de l'impact acidification**

Disponibilité des matières premières limitée et approvisionnement Grand Ouest

Figure 62 : Réduction de l'impact acidification de l'aliment engraissement porc pas à pas et incidence sur le prix et les autres impacts environnementaux dans un contexte de disponibilité limitée en matières premières

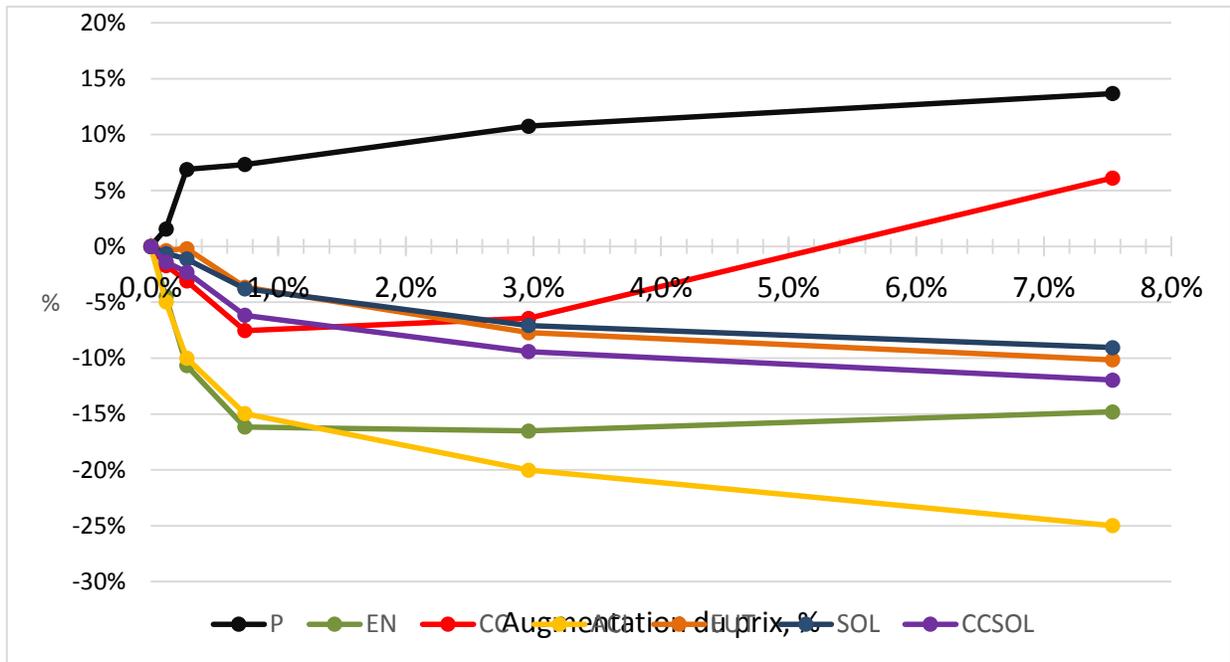
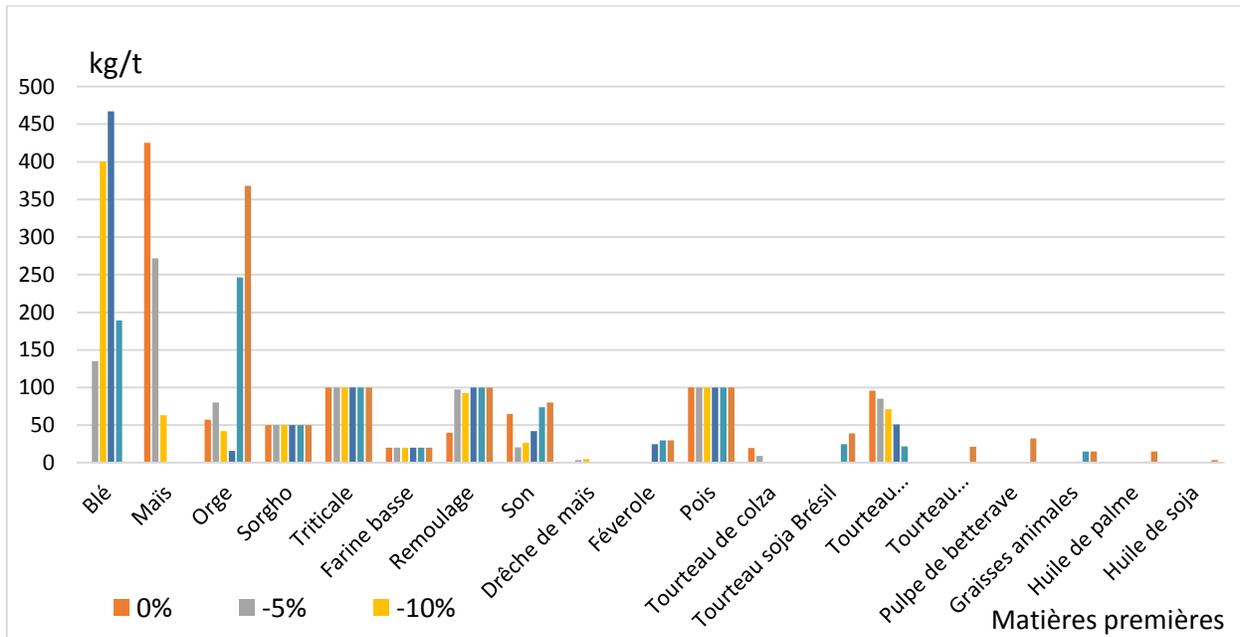


Figure 63 : Effet de la réduction de l'impact acidification de l'aliment engraissement porc pas à pas sur la composition des aliments dans un contexte de disponibilité limitée en matières premières



Disponibilité des matières premières élargie et approvisionnement Grand Ouest

Figure 64 : Réduction de l'impact acidification de l'aliment engraissement porc pas à pas et incidence sur le prix et les autres impacts environnementaux dans un contexte de disponibilité élargie en matières premières

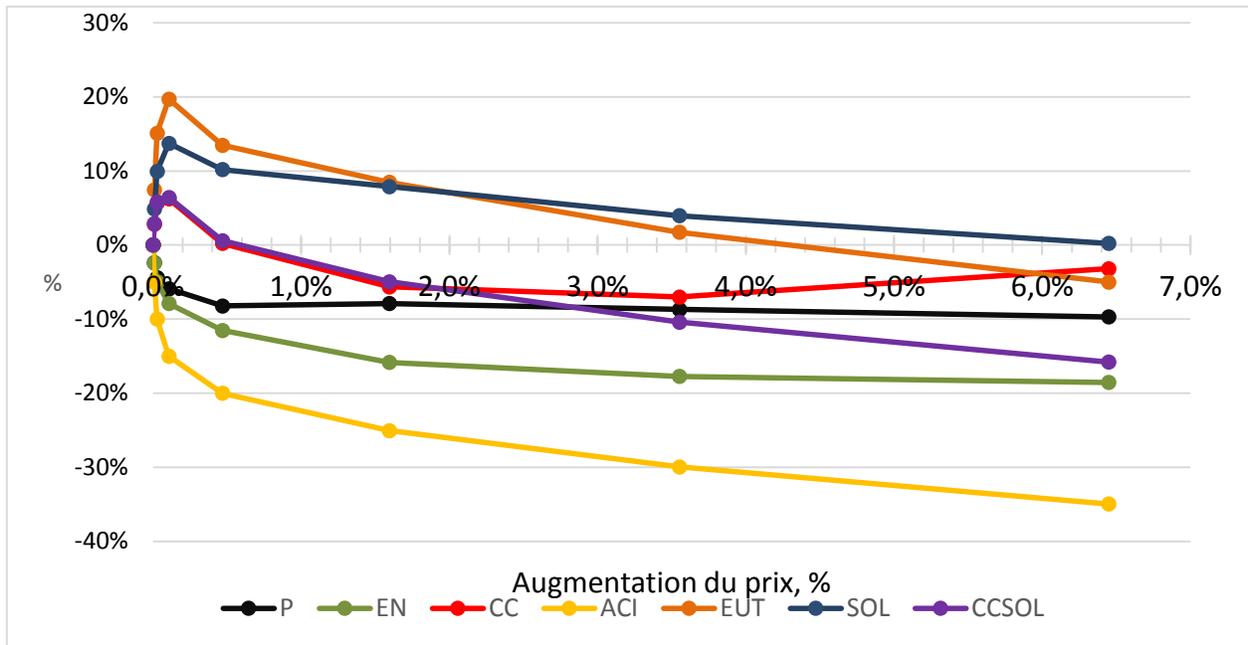
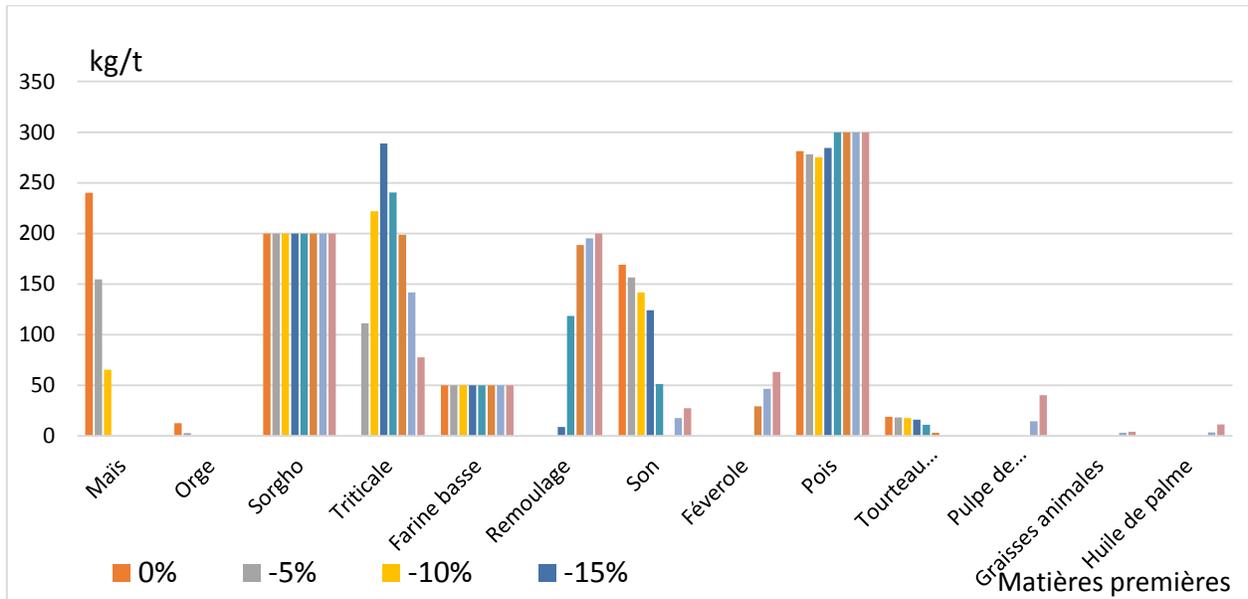


Figure 65 : Effet de la réduction de l'impact acidification de l'aliment engraissement porc pas à sur la composition des aliments dans un contexte de disponibilité élargie en matières premières



- Réduction de l'impact eutrophisation

Disponibilité des matières premières limitée et approvisionnement Grand Ouest

Figure 66 : Réduction de l'impact eutrophisation de l'aliment engraissement porc pas à pas et incidence sur le prix et les autres impacts environnementaux dans un contexte de disponibilité limitée en matières premières

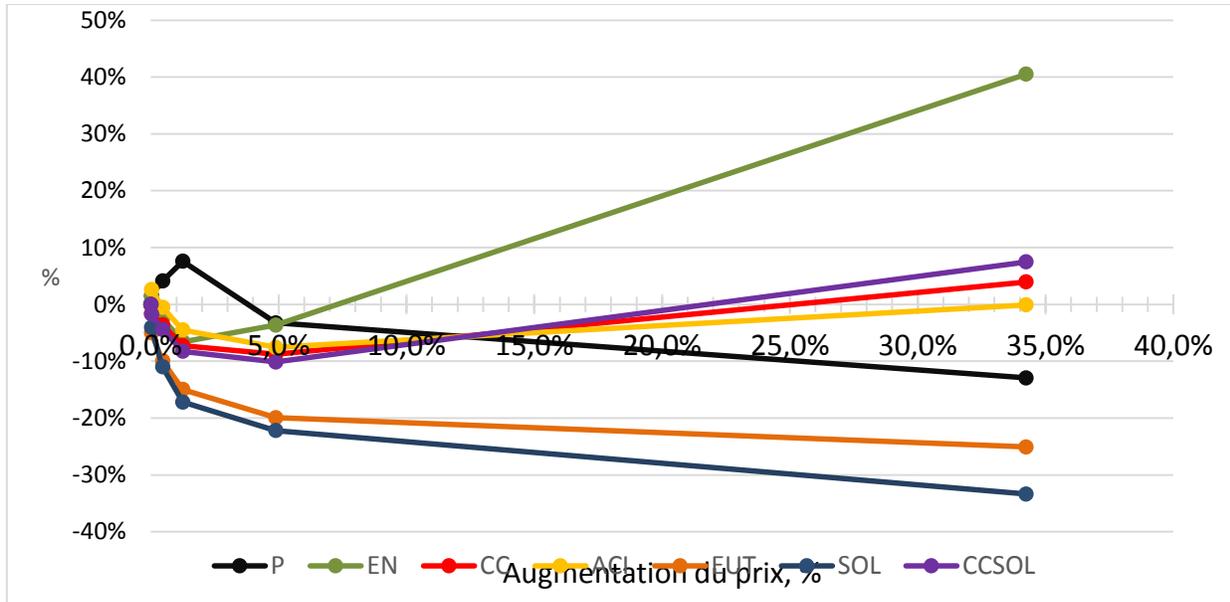
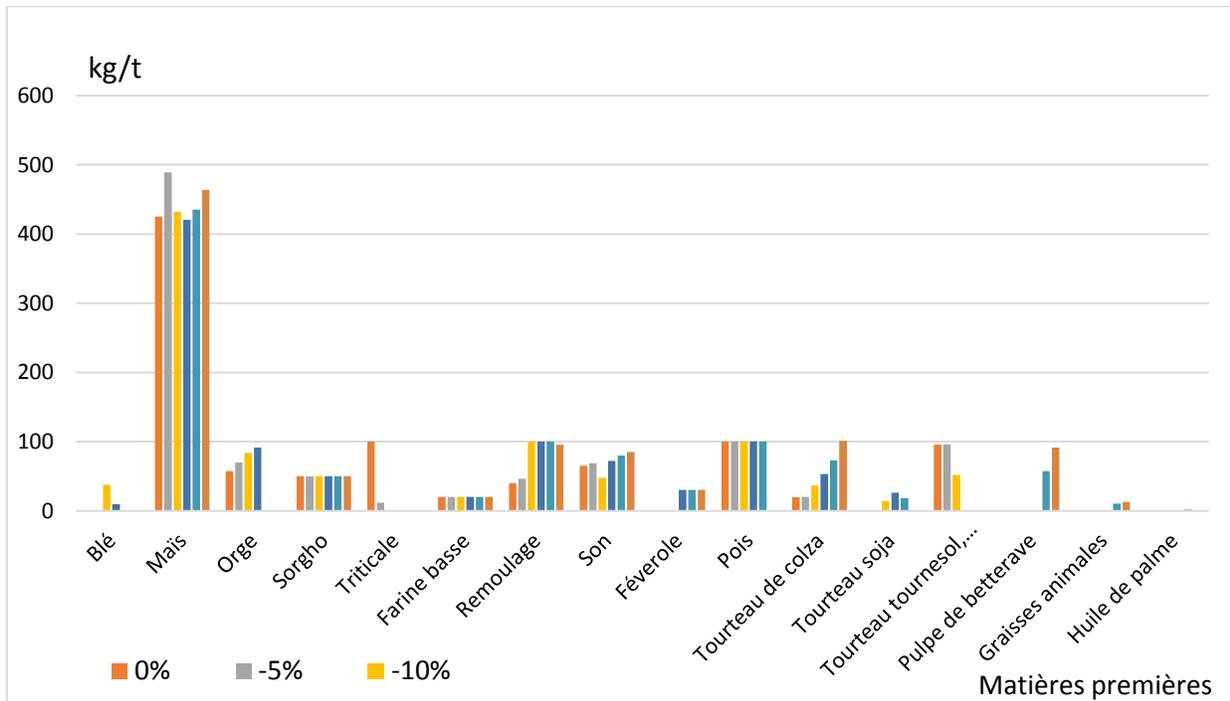


Figure 67 : Effet de la réduction de l'impact eutrophisation de l'aliment engraissement porc pas à pas sur la composition des aliments dans un contexte de disponibilité limitée en matières premières



Disponibilité des matières premières élargie et approvisionnement Grand Ouest

Figure 68 : Réduction de l'impact eutrophisation de l'aliment engraissement porc pas à pas et incidence sur le prix et les autres impacts environnementaux dans un contexte de disponibilité élargie en matières premières

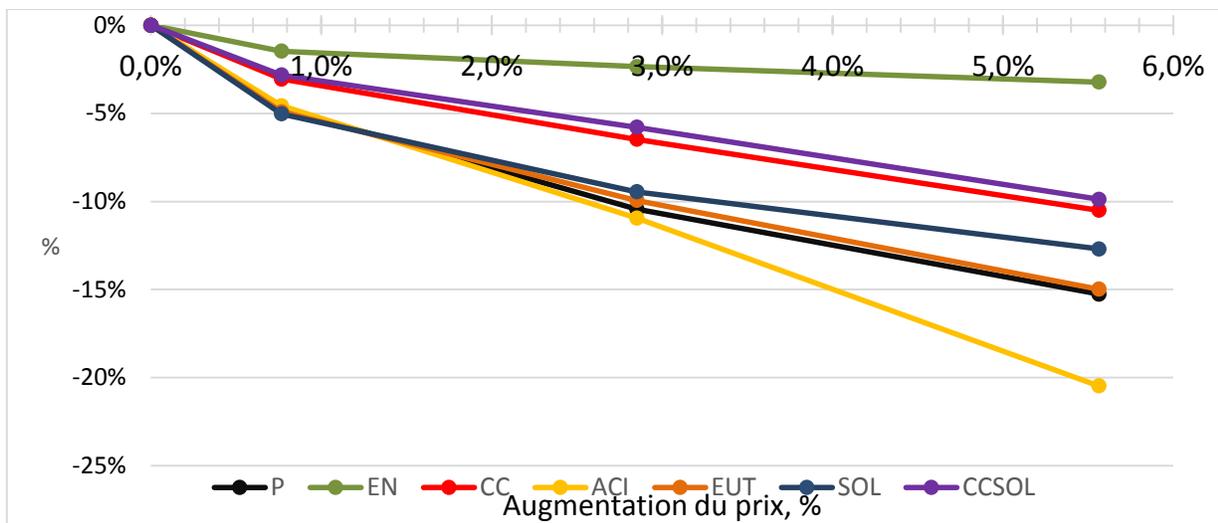
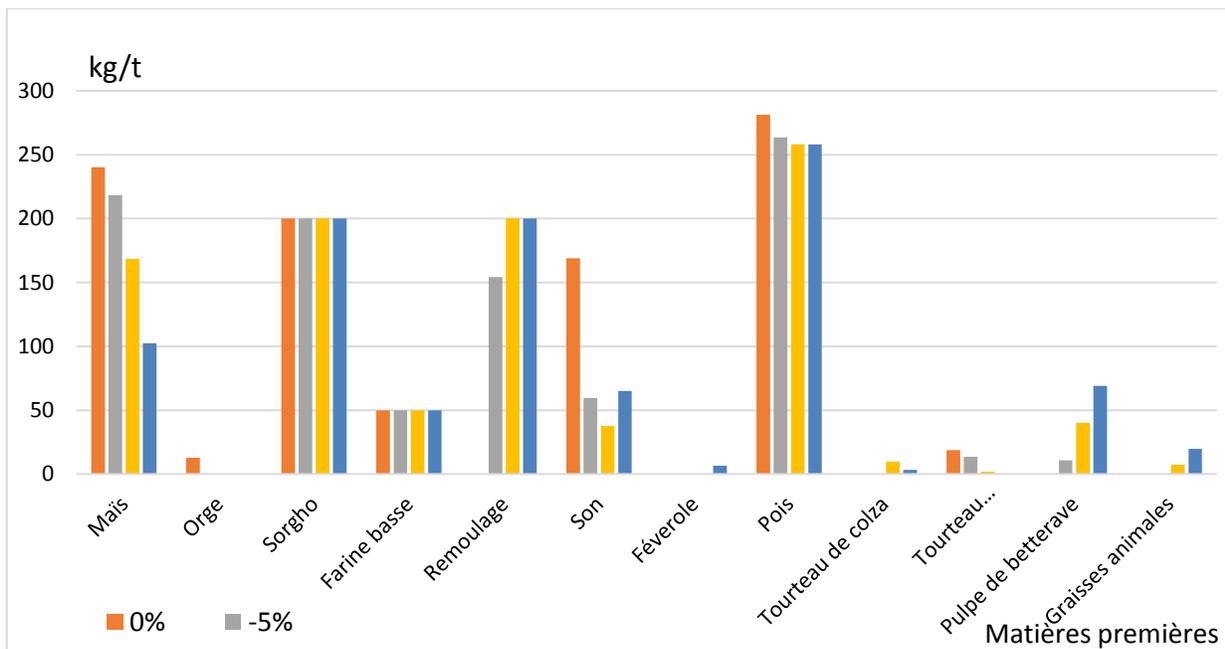


Figure 69 : Effet de la réduction de l'impact eutrophisation de l'aliment engraissement porc pas à pas sur la composition des aliments dans un contexte de disponibilité élargie en matières premières



- Réduction de l'impact utilisation des terres

Disponibilité des matières premières limitées et approvisionnement Grand Ouest

Figure 70 : Réduction de l'impact utilisation des terres de l'aliment engraissement porc pas à pas et incidence sur le prix et les autres impacts environnementaux dans un contexte de disponibilité limitée en matières premières

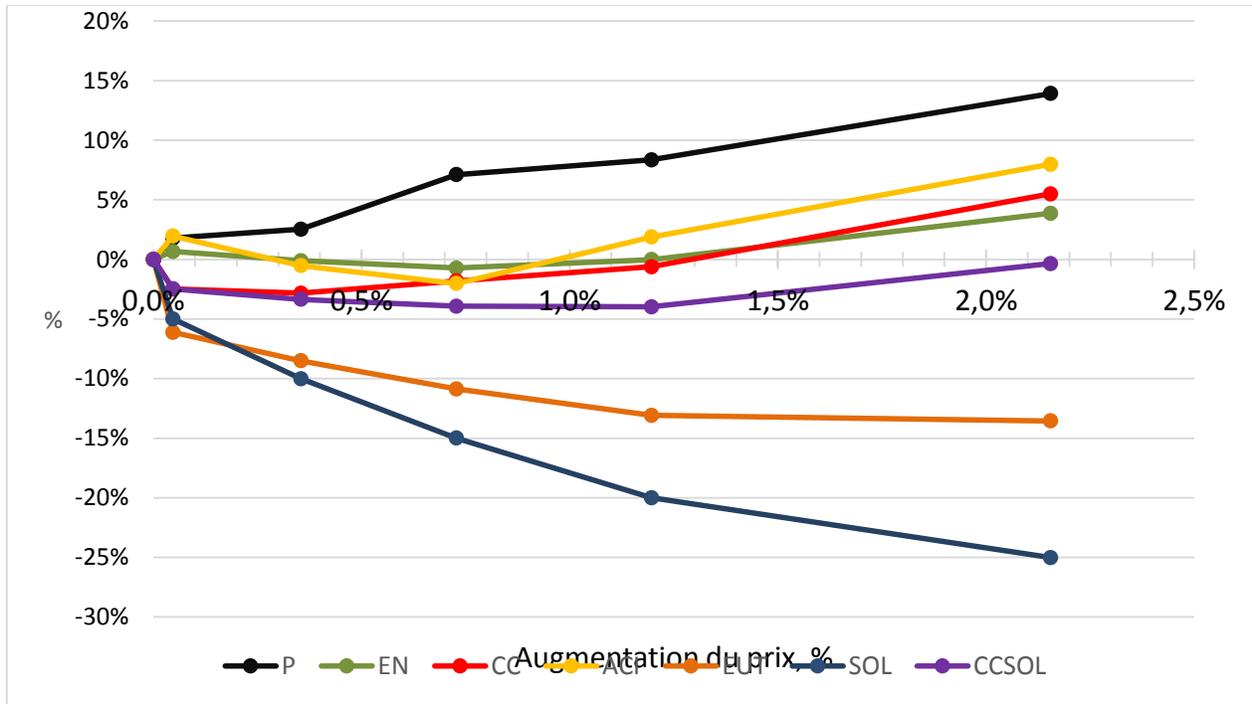


Figure 71 : Effet de la réduction de l'impact utilisation des terres de l'aliment engraissement porc pas à pas sur la composition des aliments dans un contexte de disponibilité limitée en matières premières

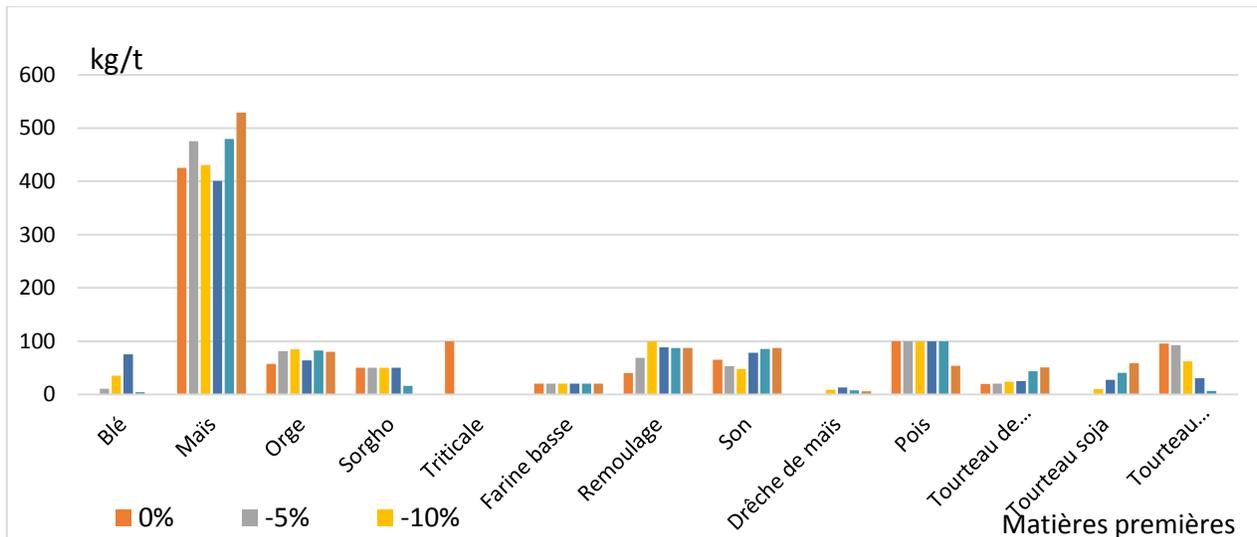


Figure 72 : Réduction de l'impact utilisation des terres de l'aliment engraissement porc pas à pas et incidence sur le prix et les autres impacts environnementaux dans un contexte de disponibilité élargie en matières premières

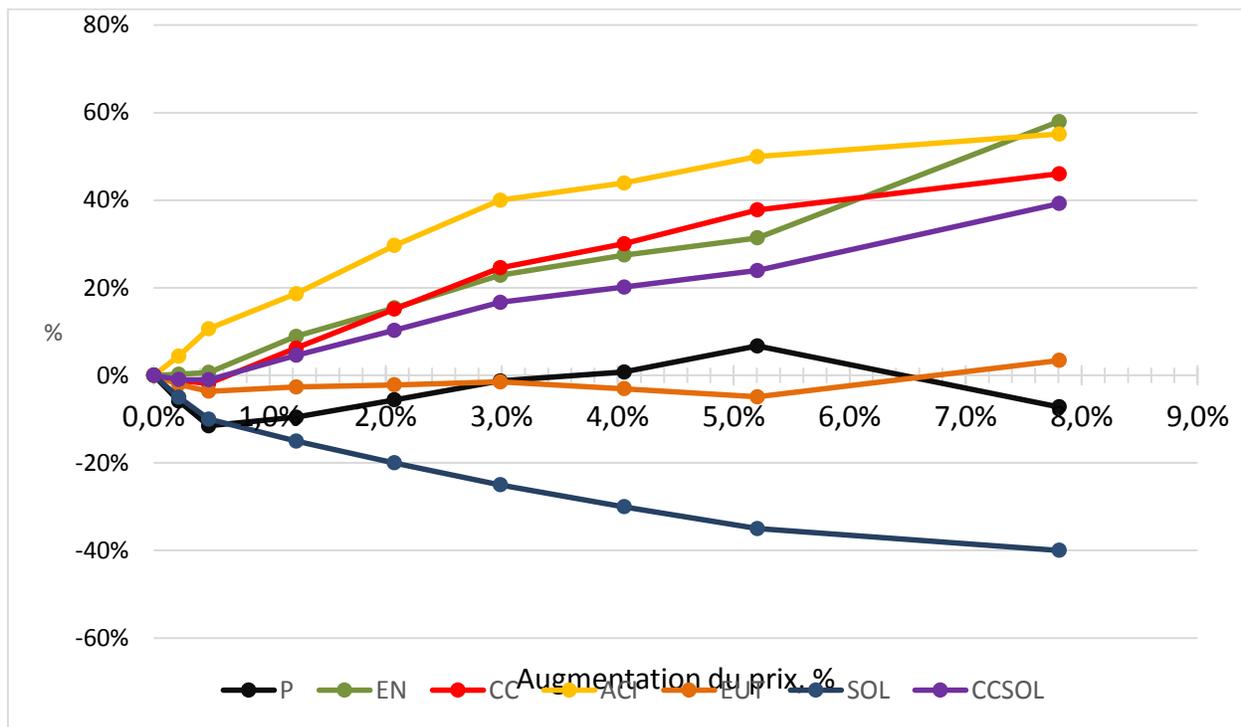
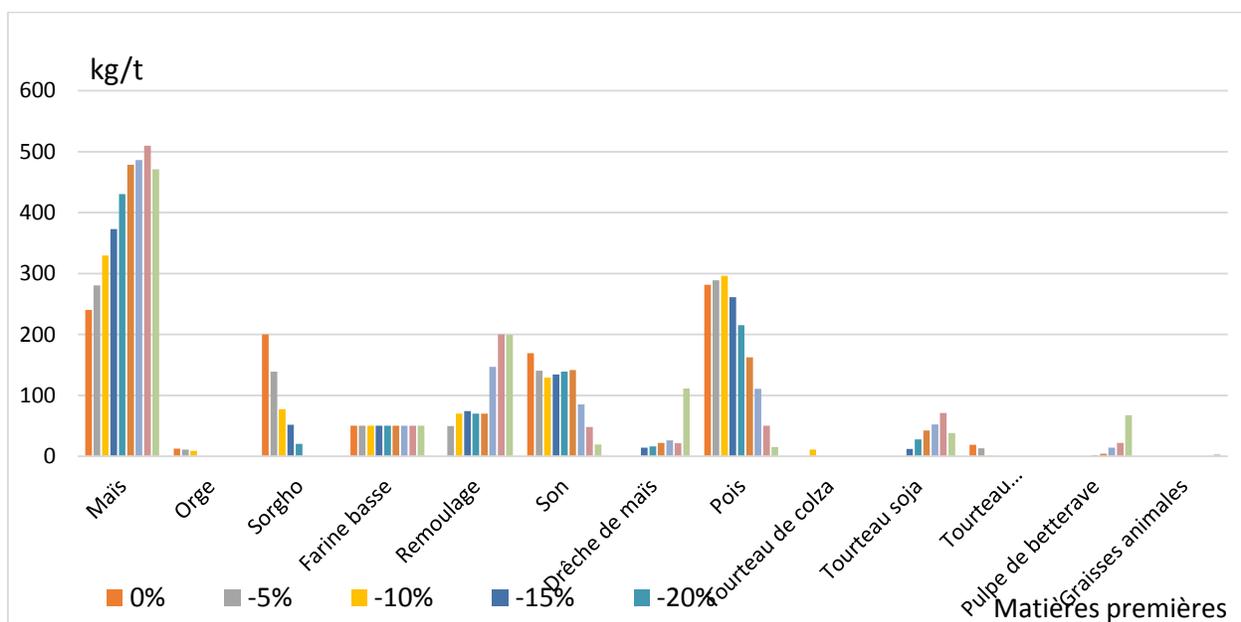


Figure 73 : Effet de la réduction de l'impact utilisation des terres de l'aliment engraissement porc pas à pas sur la composition des aliments dans un contexte de disponibilité élargie en matières premières



- Réduction de l'impact changement climatique sans changement d'utilisation des terres

Disponibilité des matières premières limitée et approvisionnement Grand Ouest

Figure 74 : Réduction de l'impact changement climatique sans changement d'utilisation des terres de l'aliment engraissement porc pas à pas et incidence sur le prix et les autres impacts environnementaux dans un contexte de disponibilité limitée en matières premières

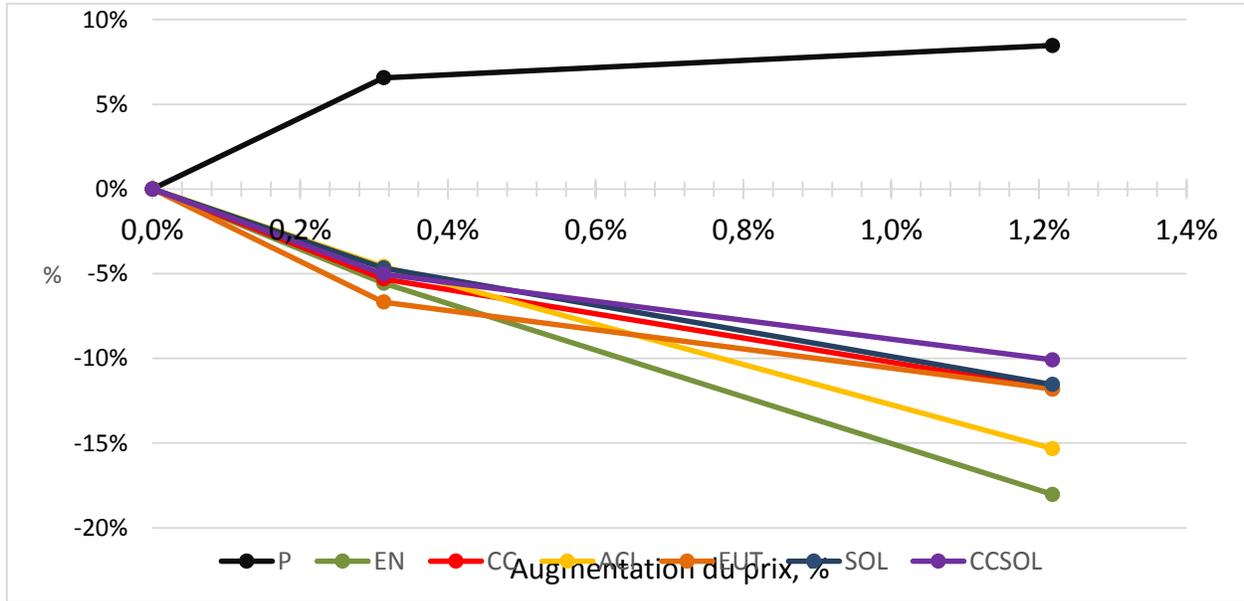
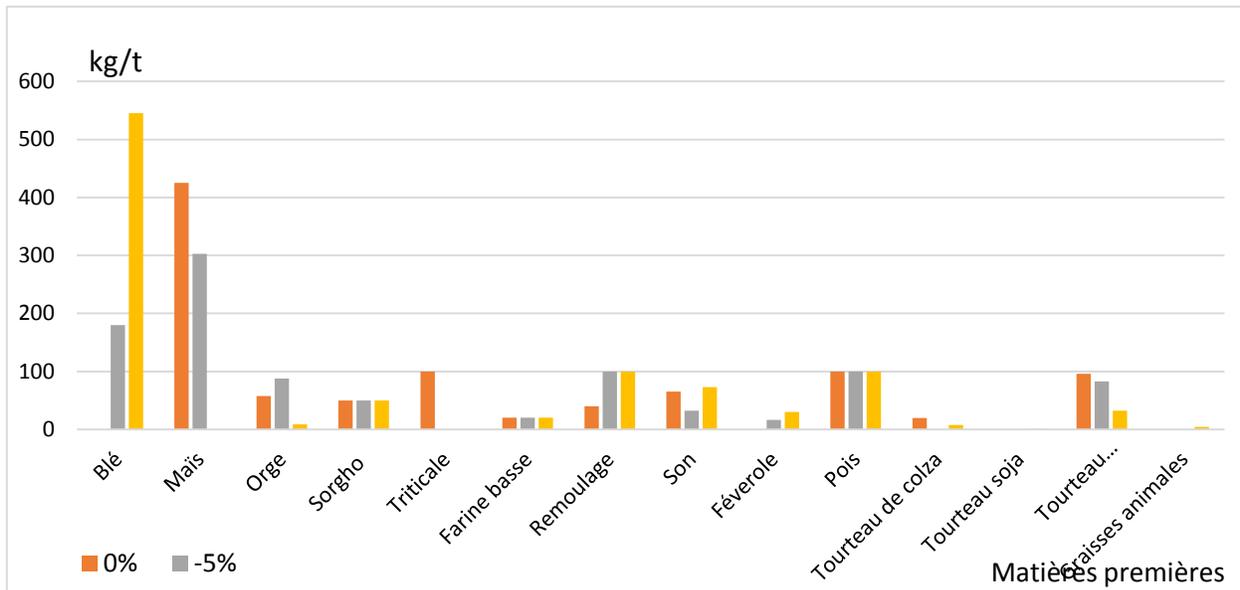


Figure 75 : Effet de la réduction de l'impact changement climatique sans changement d'utilisation des terres de l'aliment engraissement porc pas à pas sur la composition des aliments dans un contexte de disponibilité limitée en matières premières



Disponibilité des matières premières élargie et approvisionnement Grand Ouest

Figure 76 : Réduction de l'impact changement climatique sans changement d'utilisation des terres de l'aliment engraissement porc pas à pas et incidence sur le prix et les autres impacts environnementaux dans un contexte de disponibilité élargie en matières premières

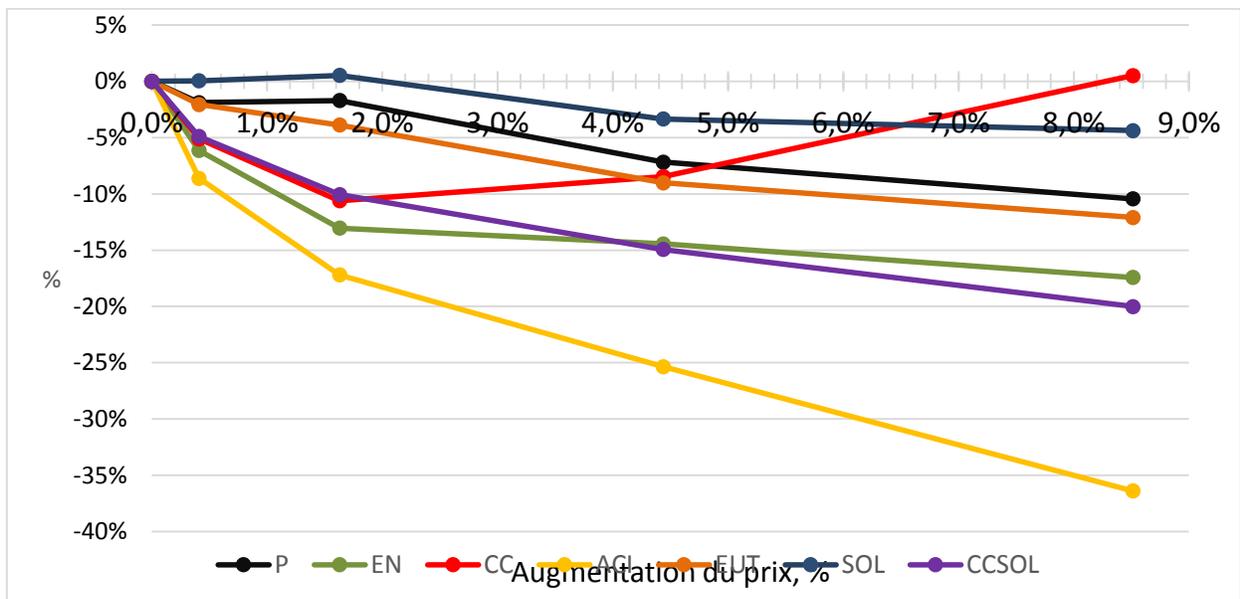
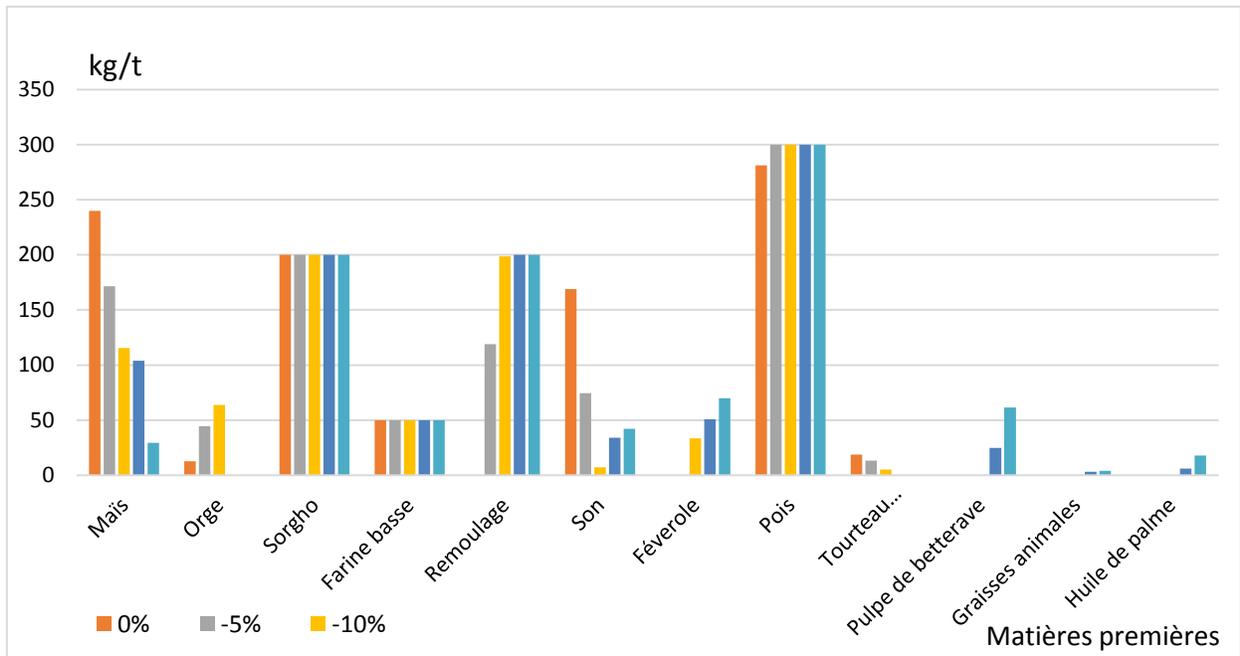


Figure 77 : Effet de la réduction de l'impact changement climatique sans changement d'utilisation des terres de l'aliment engraissement porc pas à pas sur la composition des aliments dans un contexte de disponibilité élargie en matières premières



Étape 3 : Optimisation multicritère

Réduction d'impacts

Figure 78 : Réduction progressive des impacts environnementaux de l'équation d'optimisation multicritère et augmentation du coût en fonction des valeurs de alpha pour l'aliment croissance porc dans un contexte de disponibilité limitée en matières premières

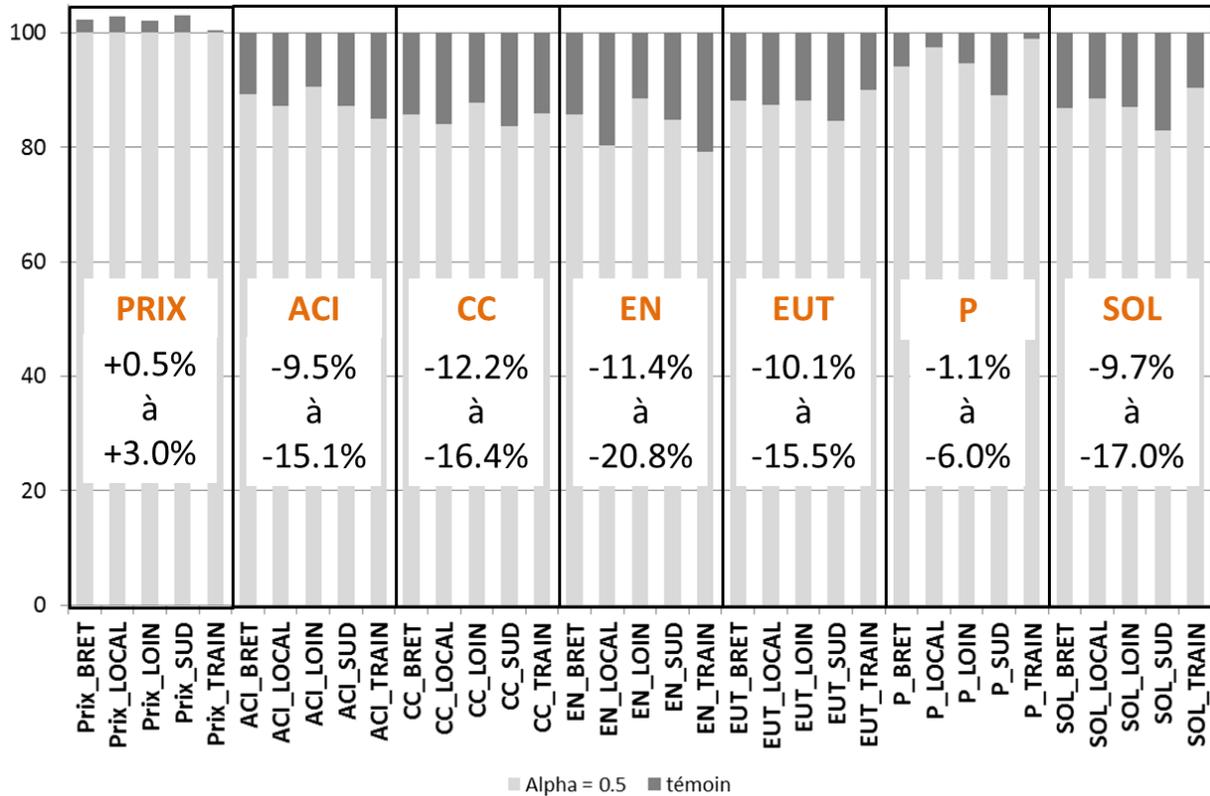
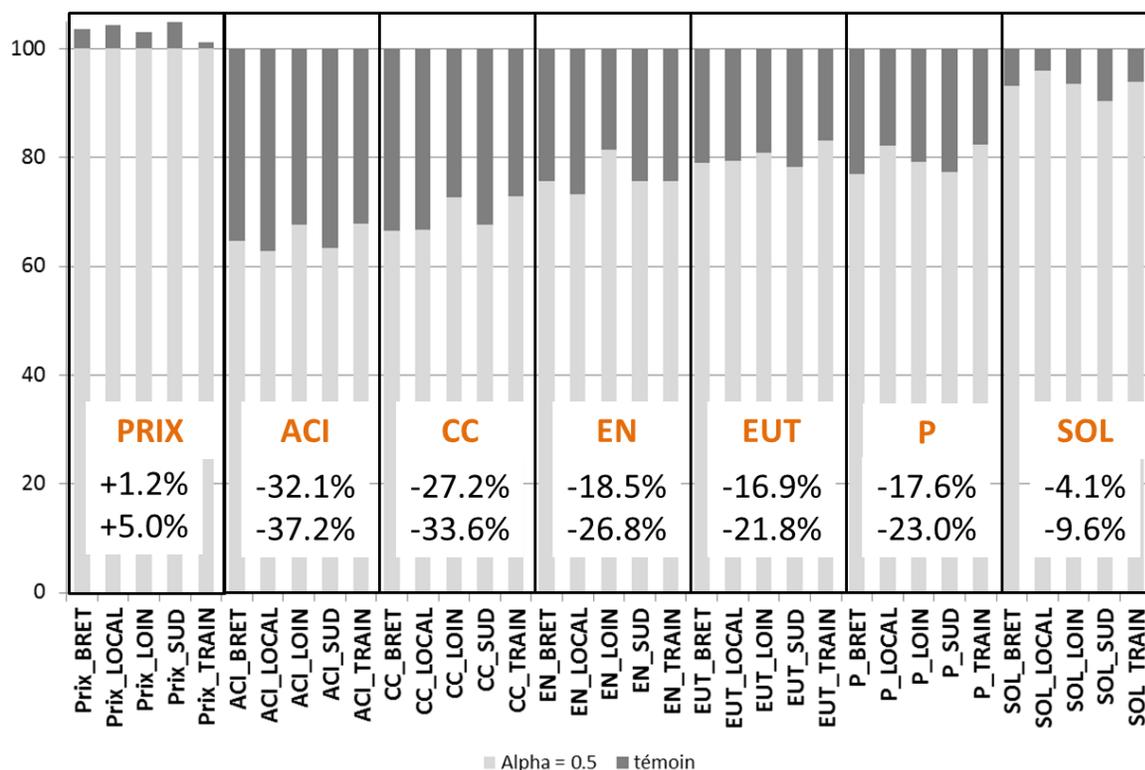
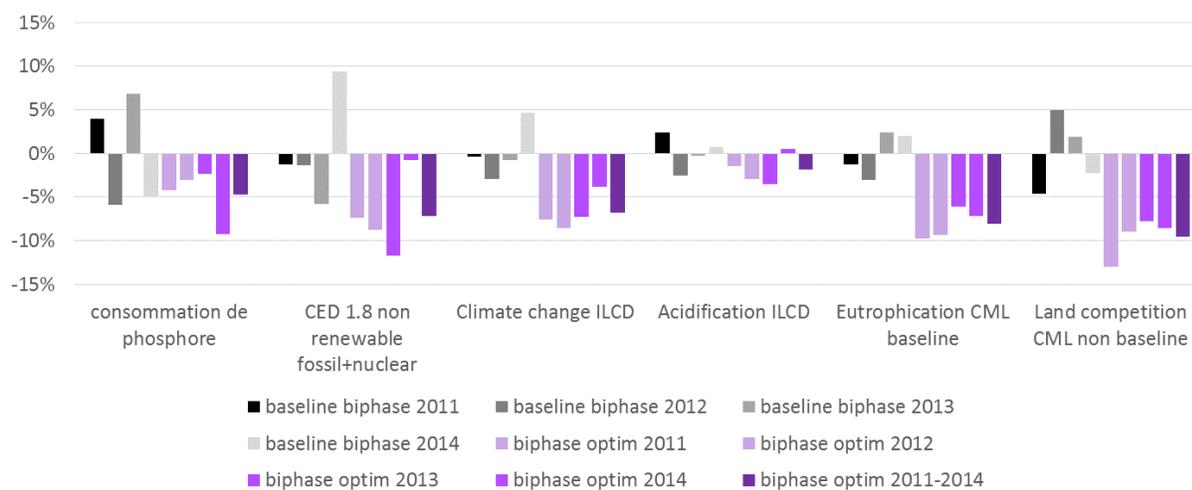


Figure 79 : Incidence de l'optimisation environnementale de l'aliment croissance porc sur l'incorporation des matières premières dans un contexte de disponibilité limitée en matières premières



Incidence du contexte économique

Figure 80 : positionnement relatif des impacts environnementaux des aliments et des écoaliments en fonction du contexte économique



Composition des écoaliments

✓ Stratégie biphase

Figure 81 : Composition de l'écoaliment croissance et finition engraissement porc pour un contexte de disponibilité limitée en matières premières, pour le Grand Ouest, et pour les 4 contextes de prix

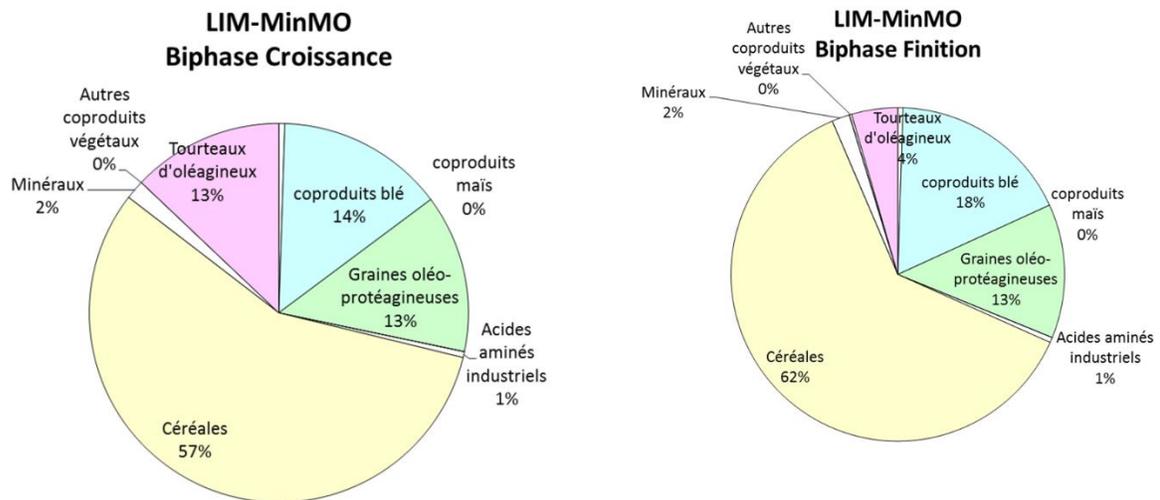
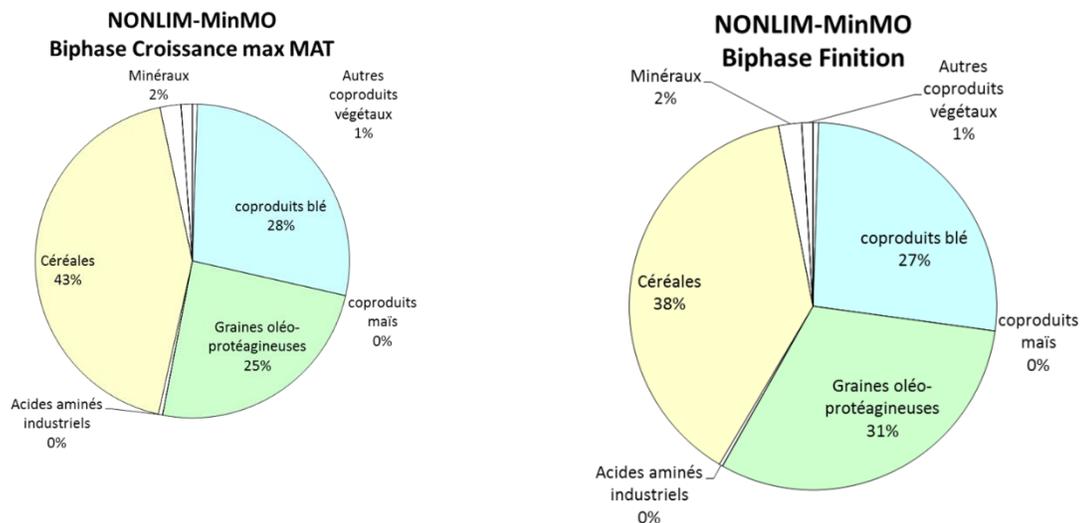
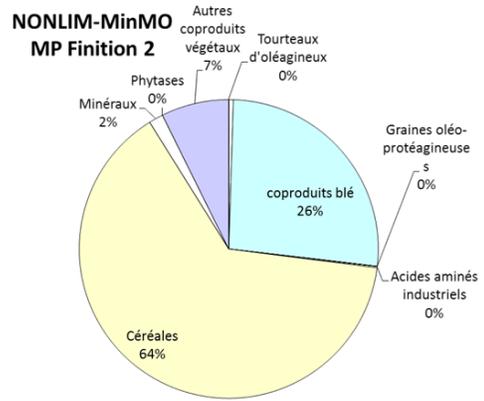
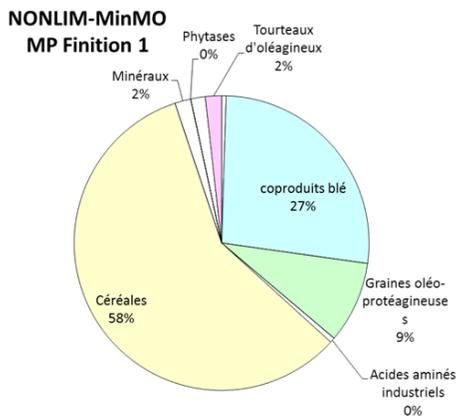
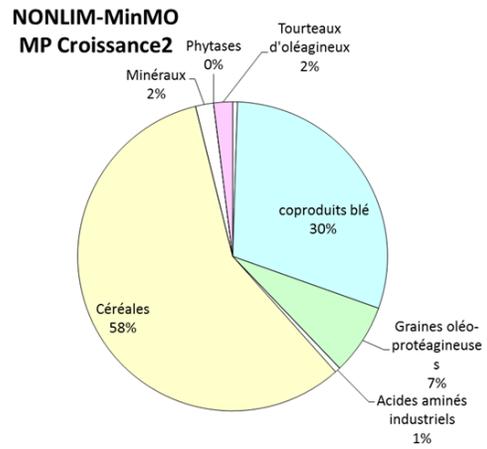
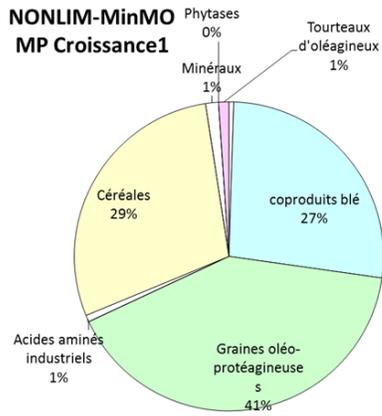


Figure 82 : Composition de l'écoaliment croissance et finition engraissement porc pour un contexte de disponibilité élargie en matières premières, pour le Grand Ouest, et pour les 4 contextes de prix

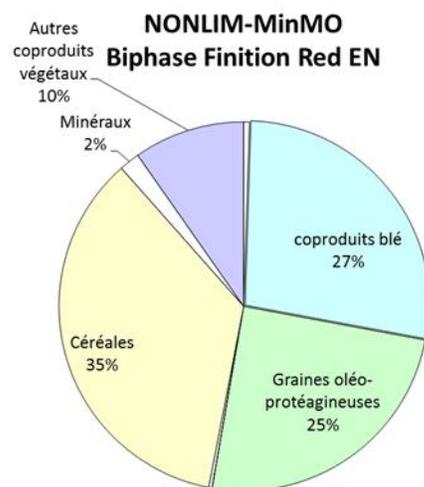
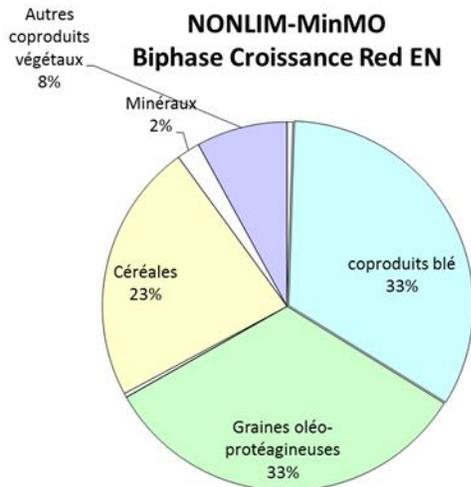


✓ Stratégie multiphase 4 aliments

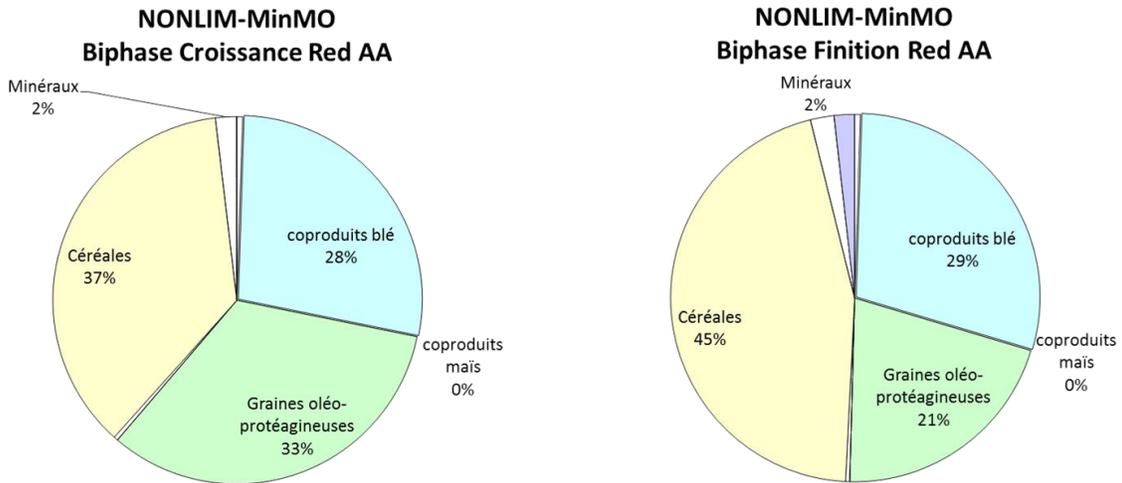
Figure 83 : Composition des écoaliment croissance et finition engraissement porc de la stratégie d'alimentation multiphase 4 aliments pour un contexte de disponibilité élargie en matières premières, pour le Grand Ouest, et pour les 4 contextes de prix



✓ Stratégie biphasé avec réduction des teneurs en énergie des aliments



✓ Stratégie biphase avec réduction des teneurs en acides aminés des aliments



2/ Résultats filière poulet standard

Étape 1 : Aliments de références

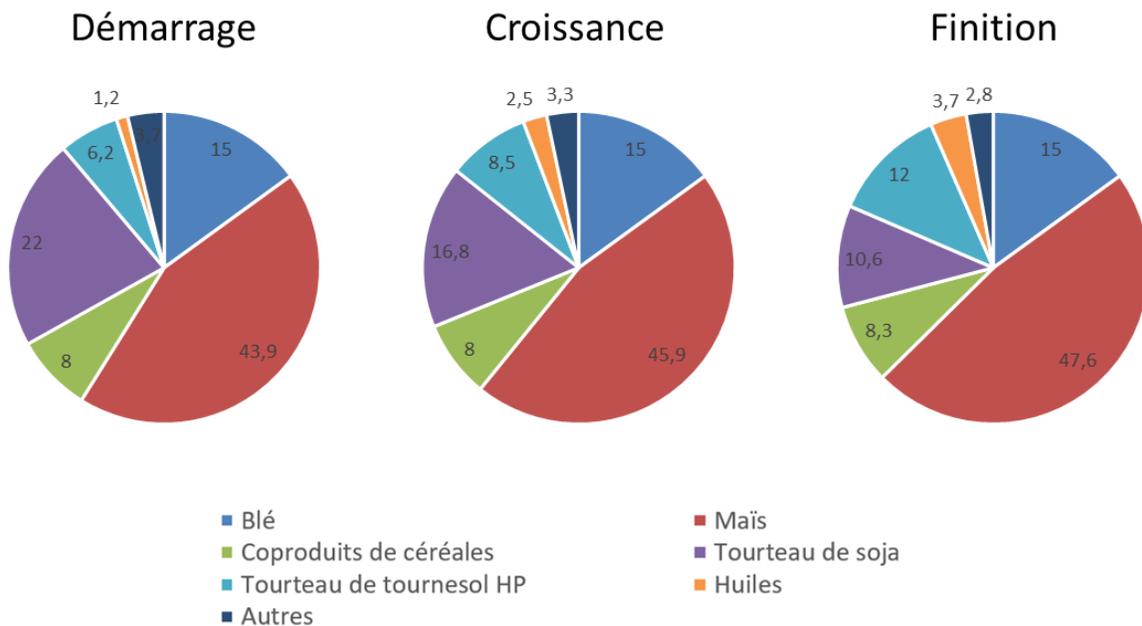


Figure 84 : Composition des aliments démarrage, croissance et finition pour le poulet de chair formulés à moindre coût, avec des disponibilités en matières premières limitées (contexte actuel) et pour le scénario d'approvisionnement Grand Ouest

Étape 2 : Réduction des impacts un à un

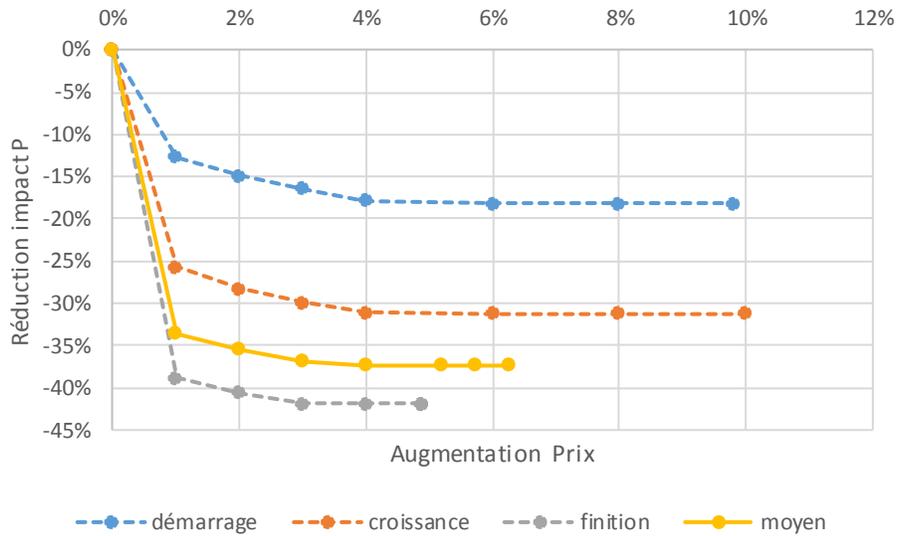


Figure 85 : Réduction de l'impact consommation de phosphore des aliments du poulet de chair et incidence sur le prix et les autres impacts environnementaux dans un contexte de disponibilité élargie en matières premières

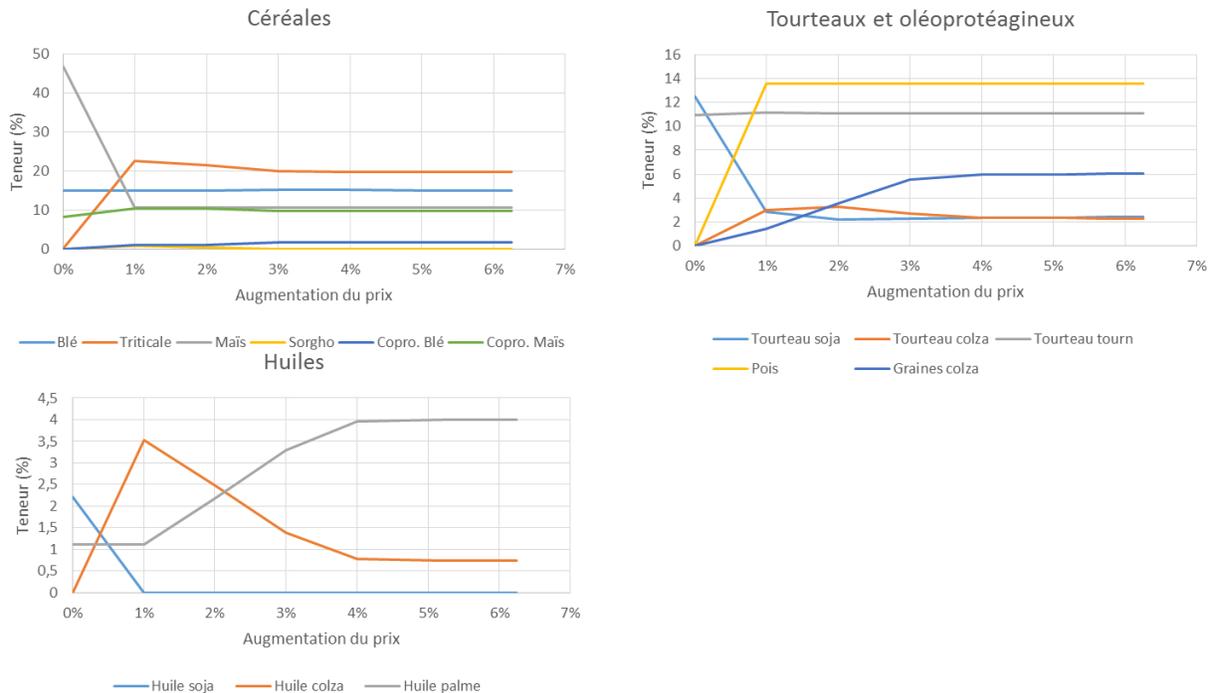


Figure 86 : Effet de la réduction de l'impact consommation en phosphore des aliments du poulet de chair pas à pas sur la composition des aliments dans un contexte de disponibilité élargie en matières premières

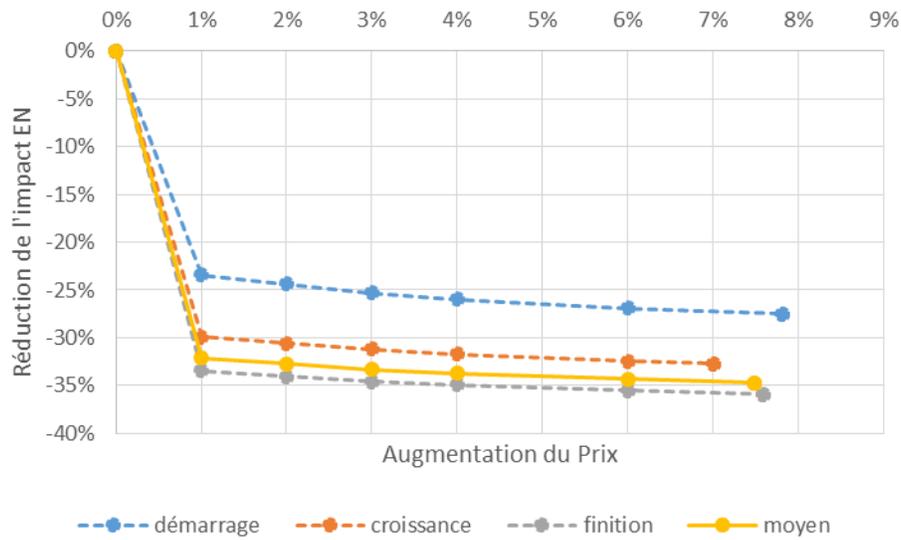


Figure 87 : Réduction de l'impact consommation d'énergie des aliments du poulet de chair et incidence sur le prix et les autres impacts environnementaux dans un contexte de disponibilité élargie en matières premières

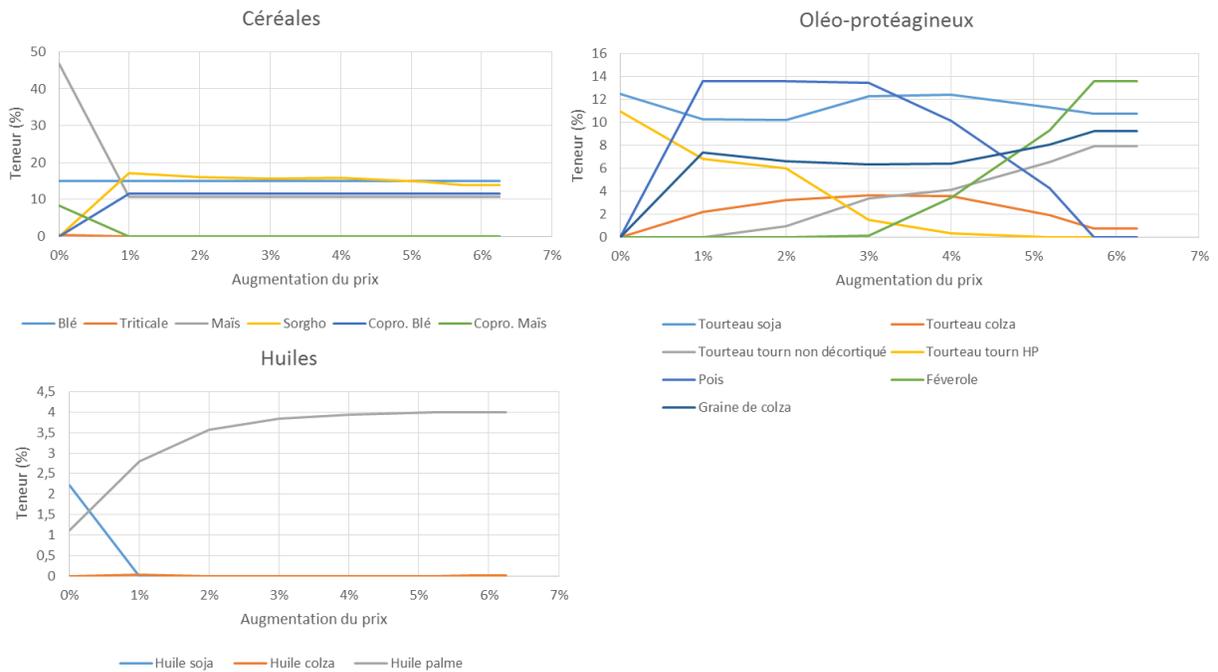


Figure 88 : Effet de la réduction de l'impact consommation d'énergie des aliments du poulet de chair pas à pas sur la composition des aliments dans un contexte de disponibilité élargie en matières premières

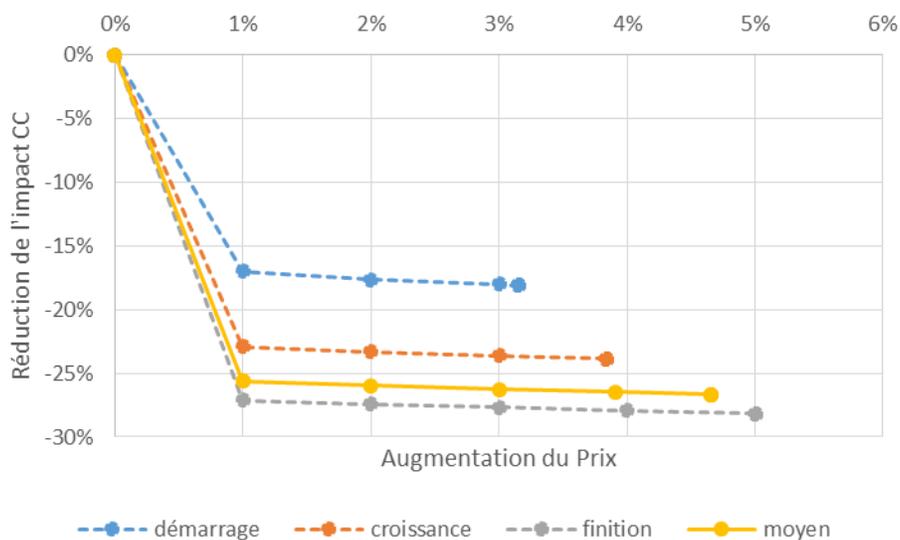


Figure 89 : Réduction de l'impact changement climatique des aliments du poulet de chair et incidence sur le prix et les autres impacts environnementaux dans un contexte de disponibilité élargie en matières premières

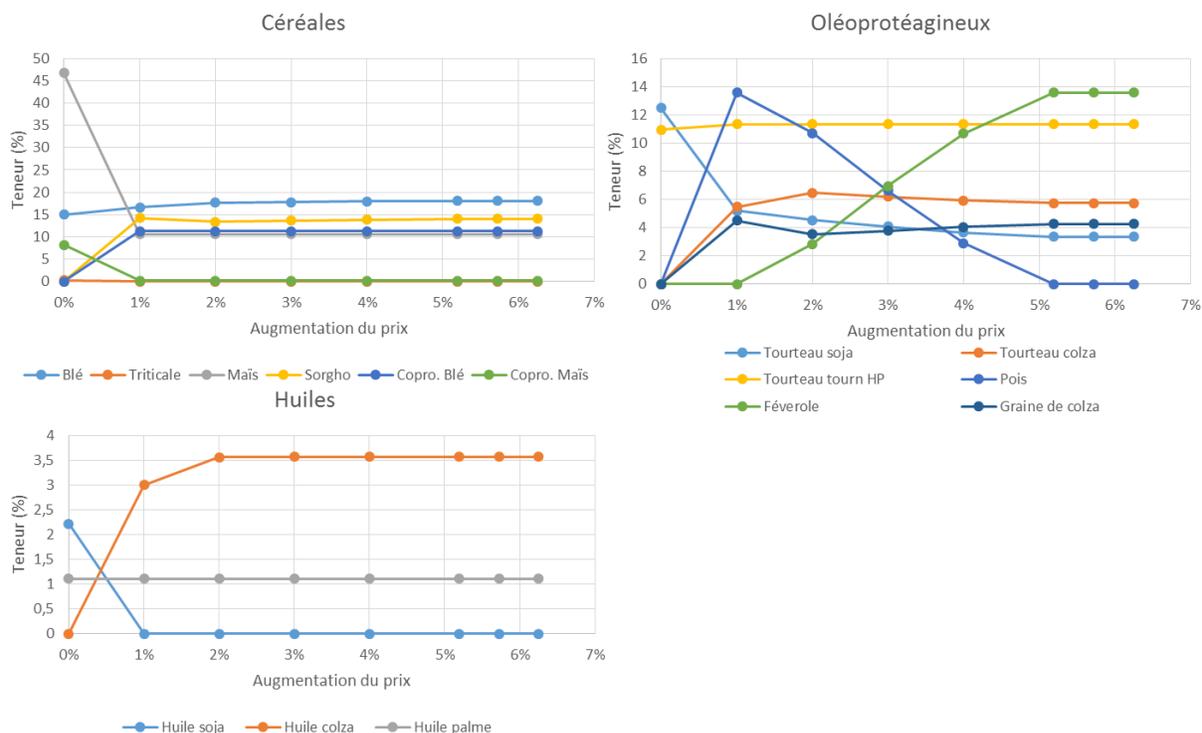


Figure 90 : Effet de la réduction de l'impact changement climatique des aliments du poulet de chair pas à pas sur la composition des aliments dans un contexte de disponibilité élargie en matières premières

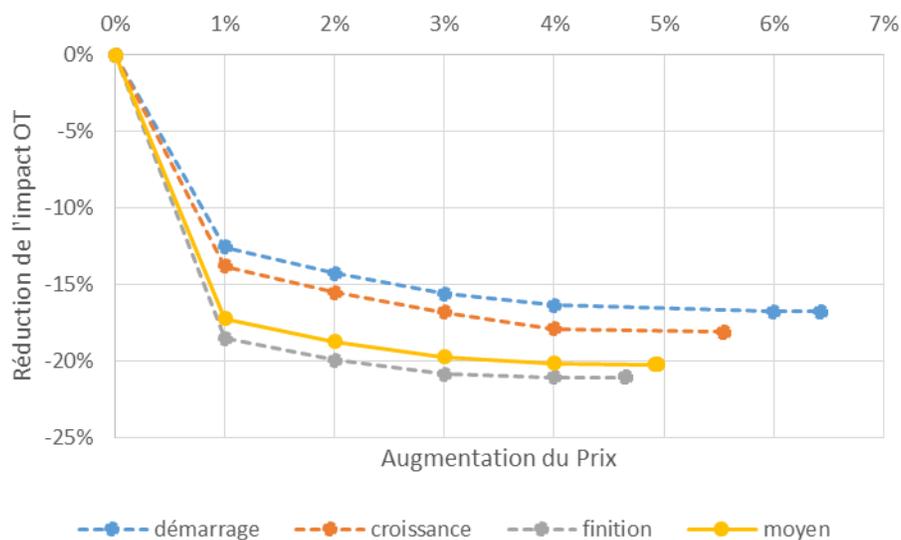


Figure 91 : Réduction de l'impact occupation des terres des aliments du poulet de chair et incidence sur le prix et les autres impacts environnementaux dans un contexte de disponibilité élargie en matières premières

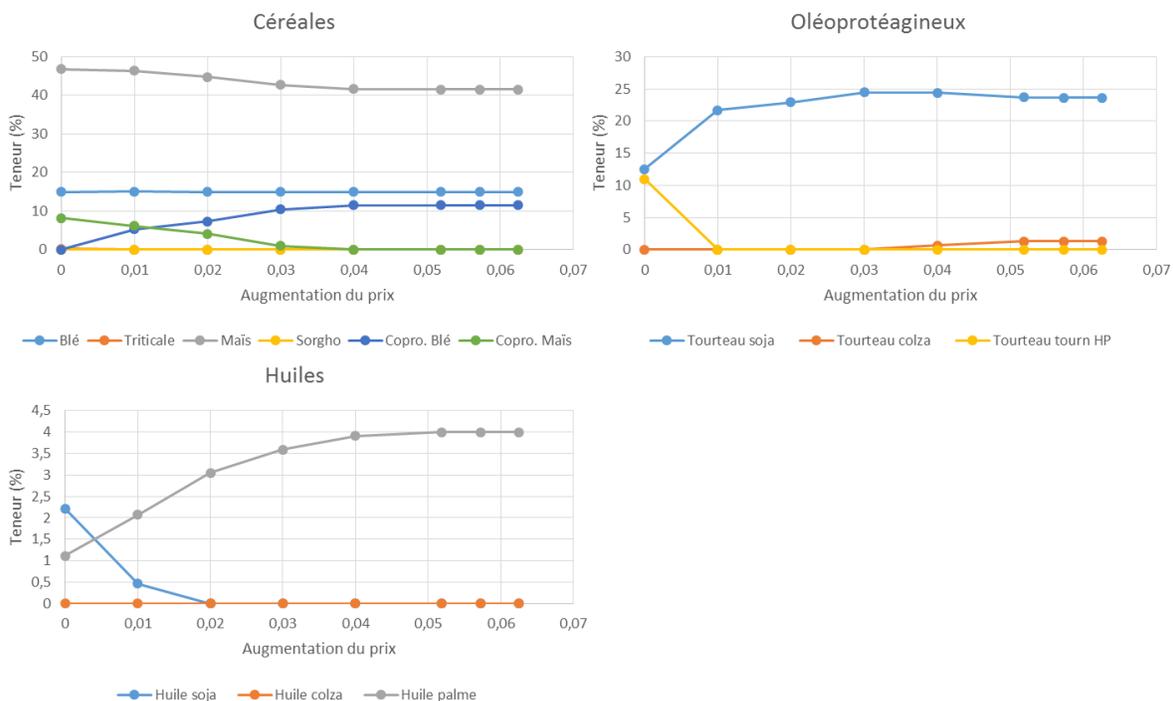


Figure 92 : Effet de la réduction de l'impact occupation des terres des aliments du poulet de chair pas à pas sur la composition des aliments dans un contexte de disponibilité élargie en matières premières

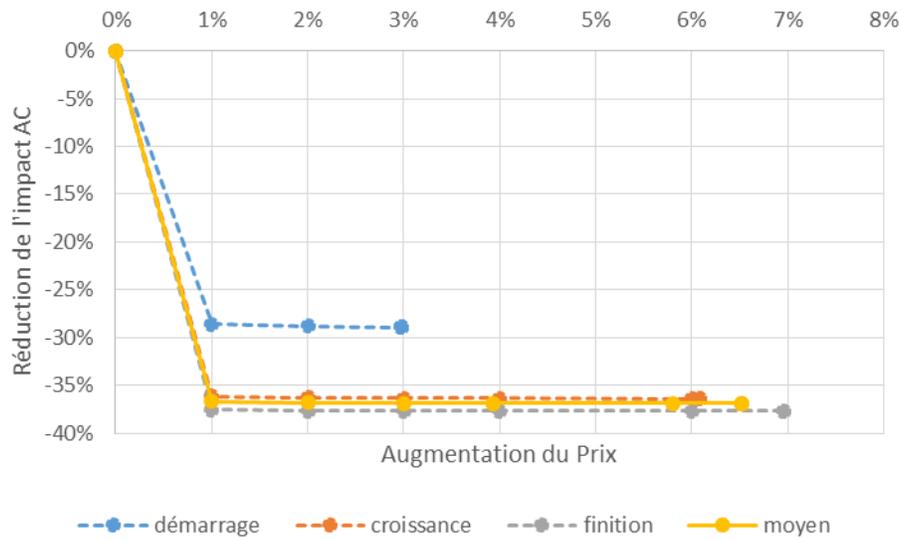


Figure 93 : Réduction de l'impact acidification des aliments du poulet de chair et incidence sur le prix et les autres impacts environnementaux dans un contexte de disponibilité élargie en matières premières

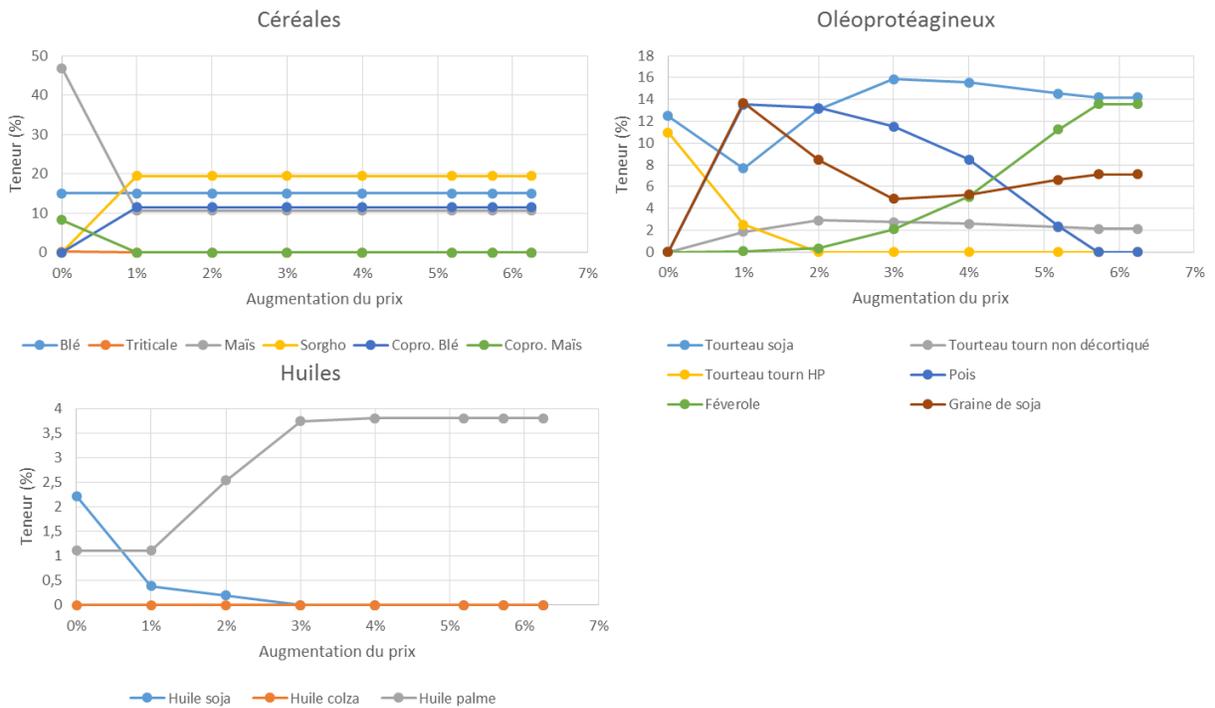


Figure 94 : Effet de la réduction de l'impact acidification des aliments du poulet de chair pas à pas sur la composition des aliments dans un contexte de disponibilité élargie en matières premières

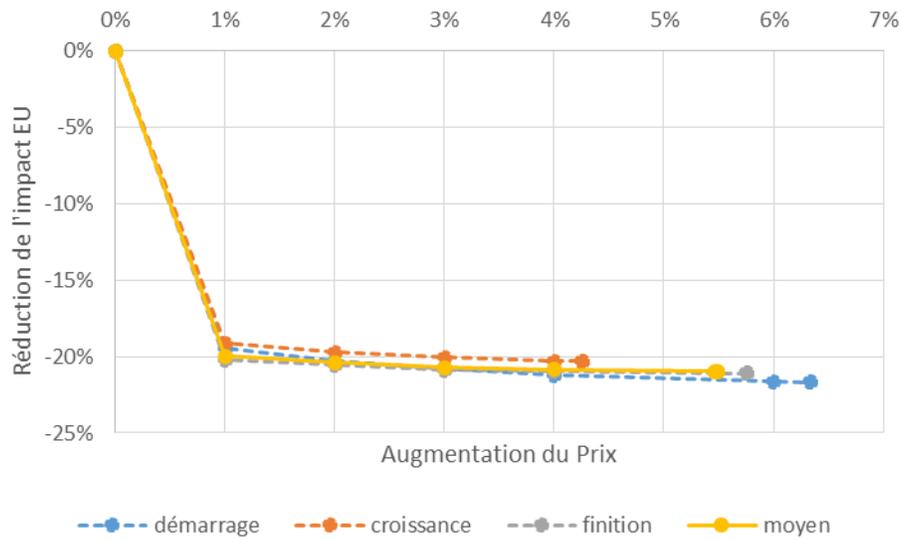


Figure 95 : Réduction de l'impact eutrophisation des aliments du poulet de chair et incidence sur le prix et les autres impacts environnementaux dans un contexte de disponibilité élargie en matières premières

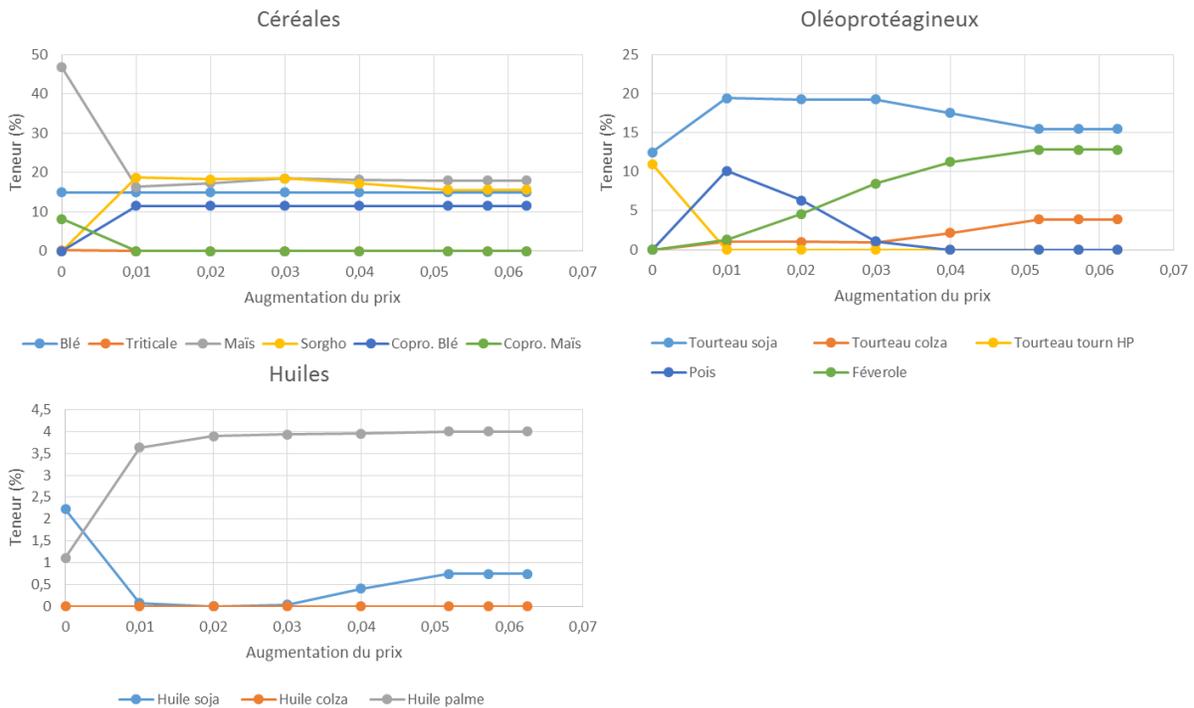


Figure 96 : Effet de la réduction de l'impact eutrophisation des aliments du poulet de chair pas à pas sur la composition des aliments dans un contexte de disponibilité élargie en matières premières

Étape 3 : Optimisation multicritère

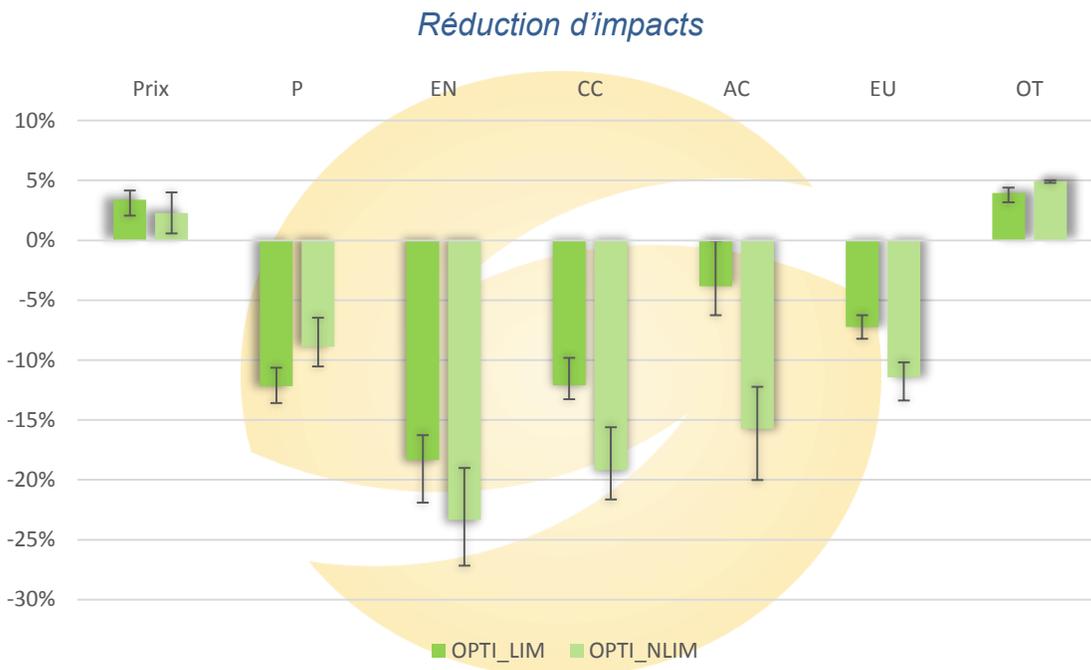
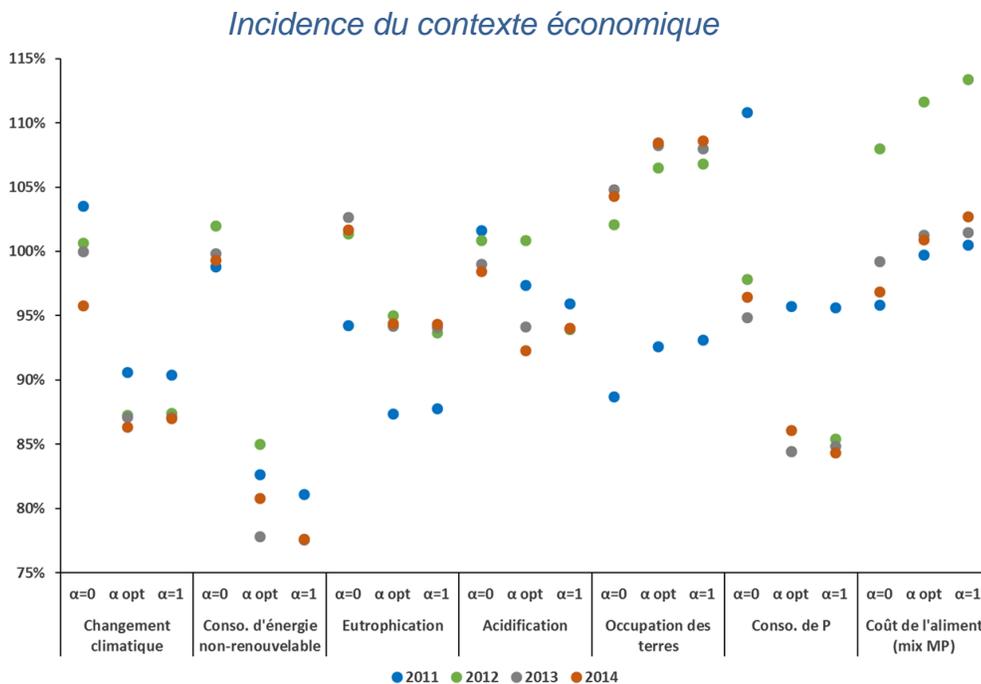


Figure 97 : Comparaison du prix et des impacts environnementaux des écoaliments moyens en contextes de disponibilité des matières premières limité ou élargi par rapport aux aliments moyens formulés à moindre coût pour différents contextes économiques



Référence: $\alpha=0$; contexte moy. 2011-2014 ; dispo LIM ; Grand Ouest

Figure 98 : incidence du contexte économique sur les impacts environnementaux des aliments en volaille de chair (aliments de référence et écoaliments)

Composition des écoalimentations

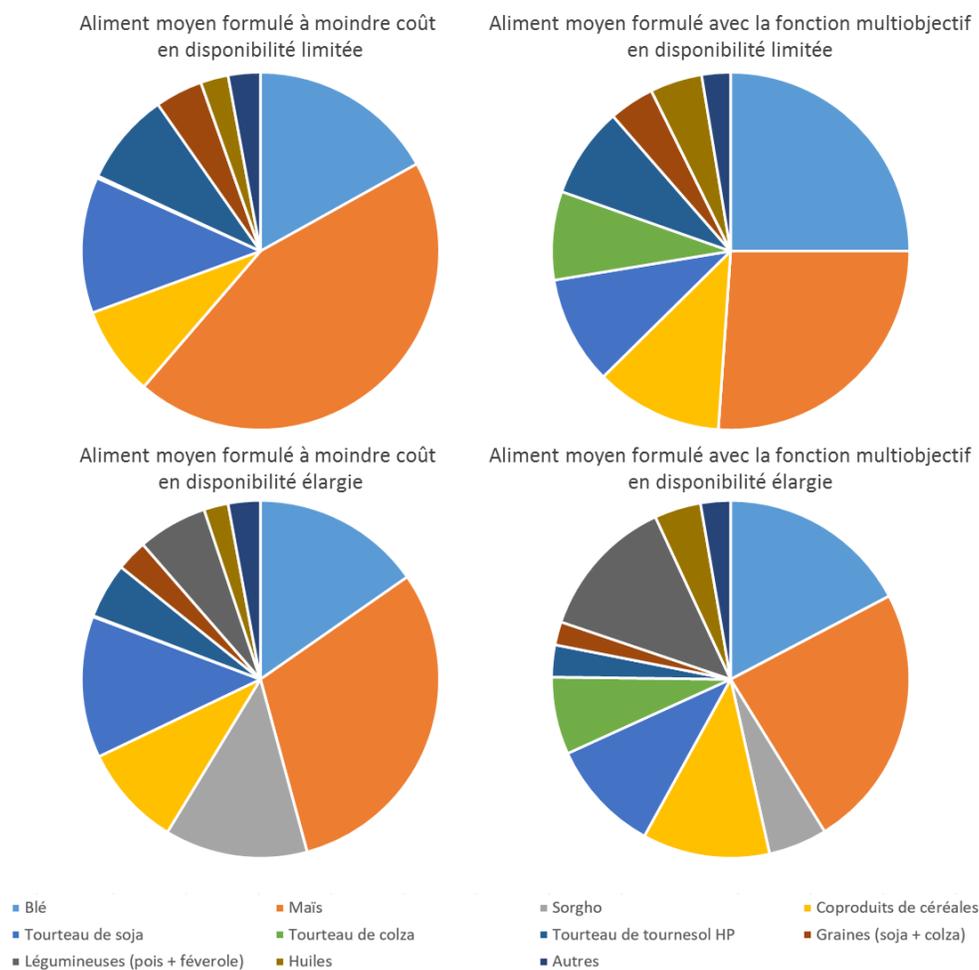
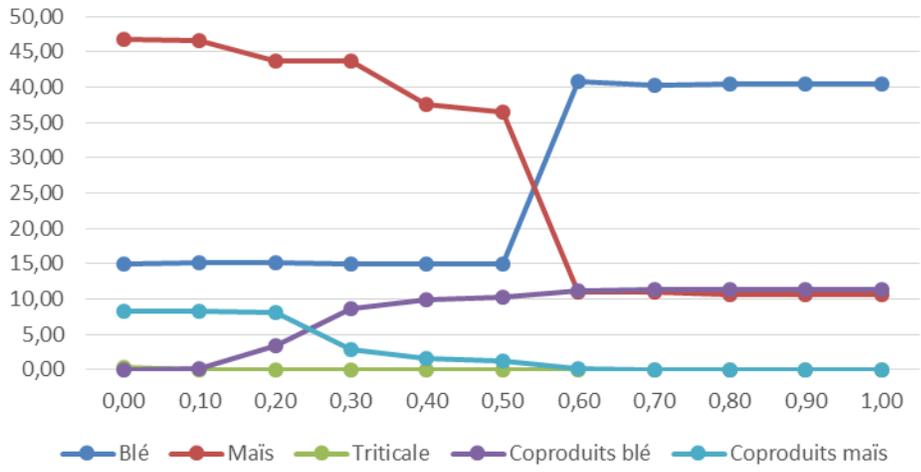
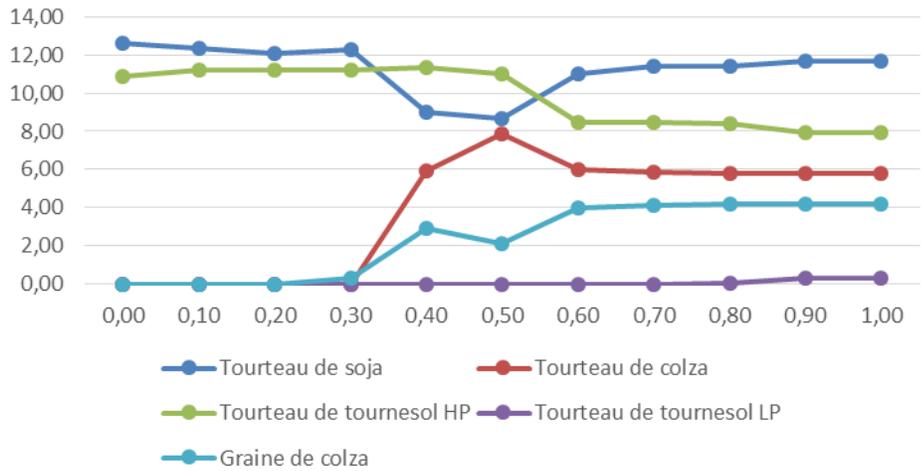


Figure 99 : Composition des aliments poulet pour les différents contextes de disponibilité de matières premières et les différentes méthodes de formulation (moindre coût et multiobjectif)

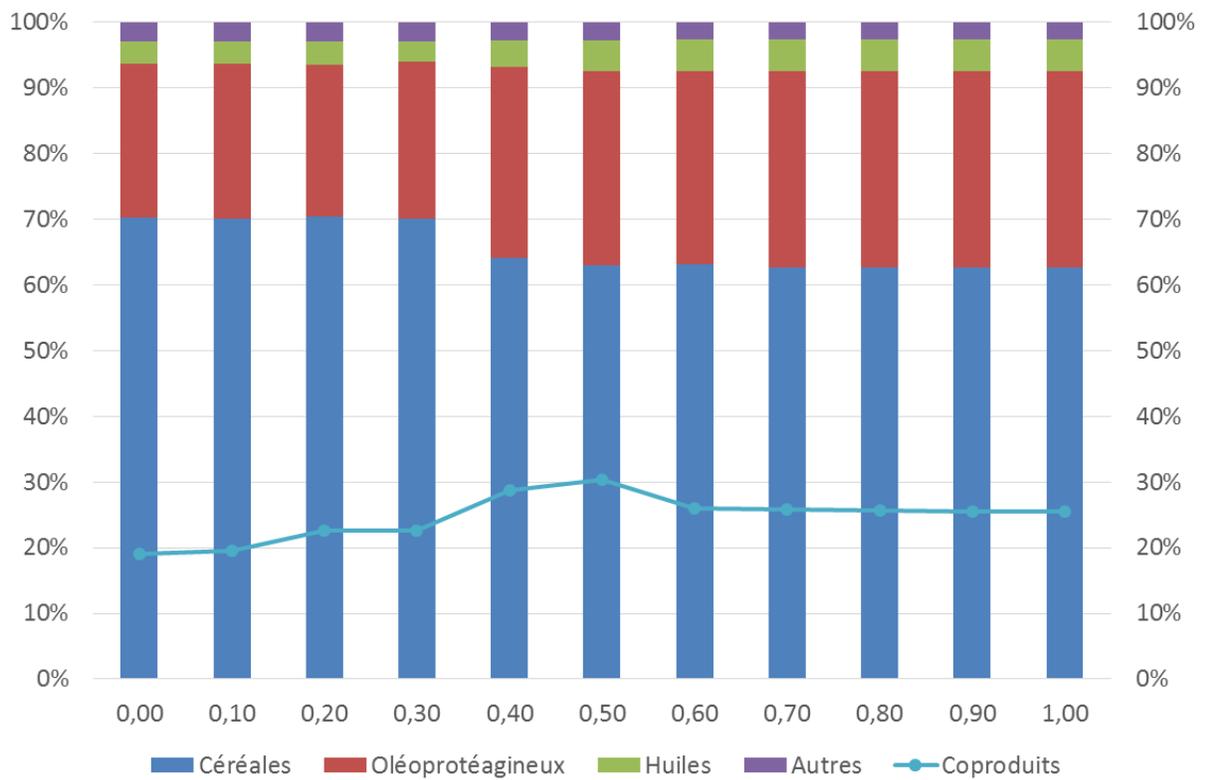
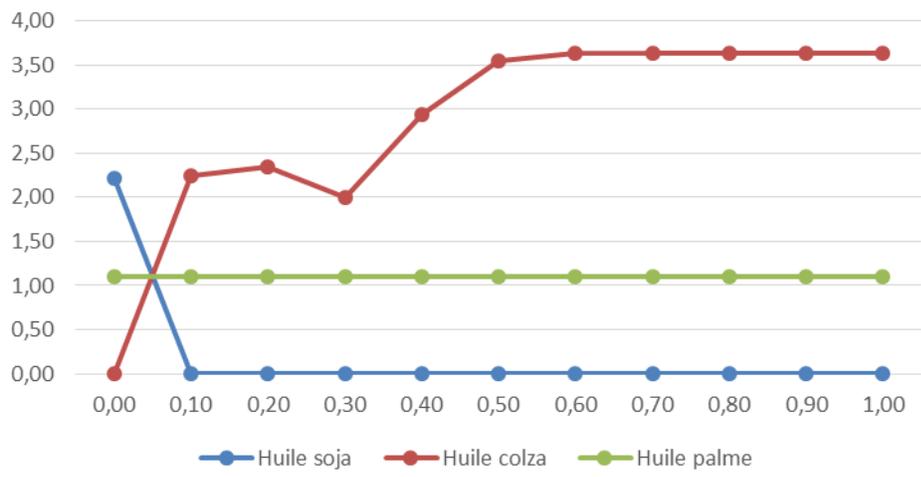
Céréales



Oléoprotéagineux



Huiles



3/ Résultats filière bovine

Étape 1 : Aliments de références

Tableau 44 : Synthèse des Impacts environnementaux des trois aliments témoins pour bovins (contexte juin 2012, Grand Ouest)

Impact Env.	Unité	VL18	VL40	JB27	Principaux contributeurs
Conso. P	kg P /kg	0,0032	0,0087	0,0029	Tx soja, <i>gluten60</i>, orge
Energie non renouv.	MJ /kg	5,416	8,146	6,270	Transport, <i>gluten60</i>, urée
GES	kg CO2 eq /kg	0,517	1,036	0,536	Tx soja, <i>gluten60</i>, transport, urée
Acidification	molc H+ eq /kg	0,0105	0,0085	0,0096	Urée, <i>gluten60</i> , transport
Eutrophication	kg PO43-eq /kg	0,0036	0,0040	0,0033	<i>Gluten60</i>, (transport si VL40)
Util. Terres	m2a /kg	1,078	1,295	0,989	Orge, tx tournesol
GES sans chang. util. Terres	kg CO2 eq /kg	0,510	0,599	0,536	<i>Gluten60</i>, transport, gluten feed de blé

Les impacts GES, Energie et Consommation de Phosphore sont plus élevés pour les aliments protéiques (VL40) qui sont composés de 58% de tourteaux de soja.

Les MP les plus impactantes (au kg) sont des MP qui fournissent un grand apport nutritionnel (protéines et/ou énergie), par exemple le tourteau de soja, le *gluten60* ou l'urée.

Parmi les postes contributeurs, le transport peut être responsable jusqu'à 20% de la consommation d'énergie par l'aliment et jusqu'à 16% des émissions de GES (transport depuis sortie OS/usine des MP).

La composition des aliments pour bovins est très variable selon le contexte économique, ce qui induit de fortes variations de tous les impacts environnementaux (parfois>20%).

Le scénario d'approvisionnement quant à lui n'a pas ou peu d'effet sur la composition de l'aliment. Cependant, pour une usine qui serait située loin des principaux lieux d'approvisionnement des matières premières, le mode de transport choisi peut influencer de manière importante l'impact environnemental de l'aliment. Par exemple, pour l'aliment VL18, il y a un effet positif du scénario « éloigné transport par train » (-10% de GES et -14% de Consommation d'Energie par rapport à l'aliment du scénario « éloigné transport par route »).

Tableau 45 : Impacts environnementaux de l'aliment témoin composé bovin VL 40 (optimisé sur le prix, contexte actuel de disponibilité en MP, Situation Grand Ouest)

Impacts environnementaux	Septembre 2011	Juin 2012	Août 2012	Février 2014	Moyenne 2011-2014
1-Prix	354.13	271.13	355.35	381.29	340.48
2-Conso. Phosphore	8.72E-03	9.36E-03	6.81E-03	7.62E-03	8.13E-03
3-Energie non renouvel.	8.15E+00	6.79E+00	1.01E+01	1.10E+01	9.00E+00
4-GES	1.036E+00	1.00E+00	9.53E-01	1.03E+00	1.01E+00
5-Acidification	8.48E-03	8.01E-03	1.02E-02	9.34E-03	9.00E-03
6-Eutrophication	3.98E-03	4.00E-03	4.87E-03	5.03E-03	4.47E-03
7-Util. Terres	1.30E+00	1.50E+00	1.52E+00	1.56E+00	1.47E+00
8-GES sans chang. util. Terres	5.99E-01	5.44E-01	7.22E-01	7.22E-01	6.47E-01
Terrestrial eutrophication ILCD	2.82E-02	2.74E-02	3.71E-02	3.22E-02	3.12E-02
Freshwater eutrophication ILCD	3.35E-04	3.46E-04	4.00E-04	4.58E-04	3.85E-04
Marine eutrophication ILCD	5.99E-03	6.02E-03	5.95E-03	6.28E-03	6.06E-03
Acidification CML baseline	5.91E-03	5.56E-03	6.67E-03	6.33E-03	6.12E-03
Global warming (GWP100a) CML baseline	1.04E+00	1.00E+00	9.53E-01	1.03E+00	1.01E+00
CED1.8 total	1.14E+01	1.03E+01	1.20E+01	1.34E+01	1.18E+01

Tableau 46 : Composition de l'aliment VL 40 – Aliment témoin (optimisé sur le prix, contexte actuel de disponibilité en MP, Situation Grand Ouest)

Nom	Septembre 2011	Juin 2012	Août 2012	Février 2014	Moyenne 2011-2014
Concentré protéique de luzerne, France	0.00	0.00	4.50	4.50	2.25
Remoulage de blé, France	8.85	0.00	0.00	0.00	2.21
Son de blé, France	16.00	0.00	0.00	9.77	6.44
Drêche de distillerie de maïs, France	0.00	0.00	21.00	21.00	10.50
Gluten 60, France	4.31	0.00	1.84	3.56	2.42
Tourteau de colza, France	0.00	21.20	40.12	0.00	15.33
Tourteau soja, Brésil moyen, trituré au Brésil	57.57	61.00	30.56	40.33	47.36
Tourteau tournesol, Mer Noire, rendu port (Sète)	1.45	0.00	0.00	0.00	0.36
Tourteau tournesol non décortiqué, France	0.00	17.40	0.00	18.52	8.98

Tourteau tournesol partiellement décortiqué, France, (32% MAT type Lezoux)	10.00	0.00	0.00	0.00	2.50
urée	1.82	0.40	1.99	2.32	1.63

Tableau 47 : Impacts environnementaux de l'aliment témoin composé bovin VL 18 (optimisé sur le prix, contexte actuel de disponibilité en MP, Situation Grand Ouest)

Impacts environnementaux	Septembre 2011	Juin 2012	Août 2012	Février 2014	Moyenne 2011-2014
1-Prix	219.53	195.73	214.42	222.04	212.93
2-Conso. Phosphore	2.70E-03	3.20E-03	2.82E-03	2.89E-03	2.90E-03
3-Energie non renouv.	5.70E+00	5.54E+00	5.60E+00	6.66E+00	5.87E+00
4-GES	4.92E-01	5.19E-01	4.37E-01	4.79E-01	4.82E-01
5-Acidification	8.58E-03	7.09E-03	7.21E-03	8.18E-03	7.77E-03
6-Eutrophication	3.05E-03	3.13E-03	3.31E-03	3.49E-03	3.25E-03
7-Util. Terres	8.87E-01	8.01E-01	1.01E+00	1.06E+00	9.38E-01
8-GES sans chang. util. Terres	4.92E-01	4.49E-01	4.37E-01	4.79E-01	4.64E-01
Terrestrial eutrophication ILCD	3.49E-02	2.83E-02	2.98E-02	3.33E-02	3.16E-02
Freshwater eutrophication ILCD	9.44E-05	2.45E-04	2.28E-04	2.44E-04	2.03E-04
Marine eutrophication ILCD	4.55E-03	3.32E-03	3.70E-03	3.83E-03	3.85E-03
Acidification CML baseline	5.19E-03	4.37E-03	4.35E-03	4.93E-03	4.71E-03
Global warming (GWP100a) CML baseline	4.92E-01	5.19E-01	4.37E-01	4.79E-01	4.82E-01
CED1.8 total	5.79E+00	6.11E+00	5.68E+00	6.76E+00	6.09E+00

Tableau 48 : Composition de l'aliment VL 18 – Aliment témoin (optimisé sur le prix, contexte actuel de disponibilité en MP, Situation Grand Ouest)

Nom	Septembre 2011	Juin 2012	Août 2012	Février 2014	Moyenne 2011-2014
Concentré protéique de luzerne, France	0.00	0.00	3.33	4.00	1.83
Pulpe de betterave déshydratée, France	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Blé tendre, France	0.00	20.00	28.42	0.00	12.10
Maïs grain, France	0.45	0.00	0.00	21.00	5.36
Orge, France	25.85	0.00	0.00	13.51	9.84
Sorgho, France	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Farine basse de blé tendre, France	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Gluten feed de blé, France	25.00	6.19	0.00	0.00	7.80
Remoulage de blé, France	26.00	26.00	26.00	19.57	24.39
Son de blé, France	15.00	15.00	15.00	21.43	16.61
Corn gluten feed, France	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Drêche de distillerie de maïs, France	0.00	19.00	19.00	19.00	14.25
Gluten 60, France	7.66	0.00	0.00	1.06	2.18
Pois, France	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tourteau de colza, France	0.00	4.55	8.26	0.00	3.20
Tourteau soja, Brésil moyen, trituré au Brésil	0.00	9.26	0.00	0.00	2.31
urée	0.03	0.00	0.00	0.44	0.12

Tableau 49 : Impacts environnementaux de l'aliment témoin composé bovin JB 27 (optimisé sur le prix, contexte actuel de disponibilité en MP, Situation Grand Ouest)

Impacts environnementaux	Septembre 2011	Juin 2012	Août 2012	Février 2014	Moyenne 2011-2014
1-Prix	219.57	189.97	208.82	220.03	209.60
2-Conso. Phosphore	2.91E-03	2.33E-03	2.05E-03	2.34E-03	2.41E-03
3-Energie non renouv.	6.27E+00	4.29E+00	7.49E+00	9.03E+00	6.77E+00
4-GES	5.36E-01	3.89E-01	5.54E-01	6.03E-01	5.20E-01
5-Acidification	9.56E-03	6.55E-03	7.97E-03	8.81E-03	8.22E-03
6-Eutrophication	3.30E-03	2.63E-03	3.43E-03	3.64E-03	3.25E-03
7-Util. Terres	9.89E-01	8.01E-01	7.19E-01	8.48E-01	8.39E-01
8-GES sans chang. util. Terres	5.36E-01	3.77E-01	5.54E-01	6.02E-01	5.17E-01
Terrestrial eutrophication ILCD	3.75E-02	2.66E-02	3.07E-02	3.35E-02	3.21E-02
Freshwater eutrophication ILCD	1.16E-04	1.57E-04	3.03E-04	3.23E-04	2.25E-04
Marine eutrophication ILCD	4.85E-03	3.21E-03	2.98E-03	3.19E-03	3.56E-03
Acidification CML baseline	5.89E-03	3.99E-03	4.95E-03	5.50E-03	5.08E-03
Global warming (GWP100a) CML baseline	5.36E-01	3.89E-01	5.54E-01	6.03E-01	5.20E-01
CED1.8 total	6.36E+00	4.46E+00	7.58E+00	9.15E+00	6.89E+00

Tableau 50 : Composition de l'aliment JB 27 – Aliment témoin (optimisé sur le prix, contexte actuel de disponibilité en MP, Situation Grand Ouest)

Nom	Septembre 2011	Juin 2012	Août 2012	Février 2014	Moyenne 2011-2014
Concentré protéique de luzerne, France	0.00	0.00	0.00	2.50	0.62
Pulpe de betterave déshydratée, France	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Avoine, France	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Blé tendre, France	0.00	8.00	15.62	0.00	5.90
Maïs grain, France	0.00	0.00	0.00	20.58	5.15
Orge, France	48.62	0.00	0.00	2.60	12.81
Drêche de distillerie de blé, France	0.00	15.21	0.00	0.00	3.80
Farine basse de blé tendre, France	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Gluten feed de blé, France	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Remoulage de blé, France	12.30	30.00	24.36	11.00	19.42
Son de blé, France	28.70	11.00	16.64	30.00	21.58
Corn gluten feed, France	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Drêche de distillerie de maïs, France	0.00	0.00	30.00	30.00	15.00
Gluten 60, France	7.31	0.00	0.00	0.00	1.83
Pois, France	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tourteau de colza, France	0.00	33.17	10.82	0.00	11.00
Tourteau soja, Brésil moyen, trituré au Brésil	0.00	1.65	0.00	0.00	0.41
Urée	3.06	0.97	2.57	3.32	2.48

Étape 2 : Réduction des impacts environnementaux un à un sous contrainte de prix

- **Réduction de l'impact changement climatique avec un contexte de disponibilité en MP élargie**

La Figure 100 montre l'évolution du prix de l'aliment et des impacts environnementaux lorsque les GES sont réduits, pour l'aliment VL40.

On constate les points suivants :

- Une divergence des impacts GES et utilisation des terres pour ce type d'aliment
- Les impacts Consommation de P et GES ont des courbes de même allure
- Les consommations d'énergies non renouvelables augmentent dans un 1^{er} temps pour réduire les GES totaux : cela est un effet de l'introduction de concentré protéique de luzerne (source très protéique, à impact énergétique fort, mais à impact GES relativement plus faible) associé aux remoulages de blé et à la place de tourteaux de soja brésilien (Figure 101)
- L'augmentation de l'acidification dans un 2^{ème} temps est due à l'effet de l'introduction du tourteau de colza à la place des tourteaux de soja et des sons de blé tendre (Figure 101)

L'utilisation des terres sera ainsi une limite pour une formulation multi-objectifs avec comme priorité la réduction des GES, au moins pour ce type d'aliment.

Ici, avec l'aliment VL40, les impacts Acidification et GES ont des courbes d'allures différentes, ce qui n'est pas le cas avec l'aliment VL18.

Figure 100 : Evolution autres impacts environnementaux et du prix lors de la minimisation de l'impact GES sont réduits ; exemple de l'aliment VL 40 (Contexte juin2012, Grand Ouest, MP dispo)

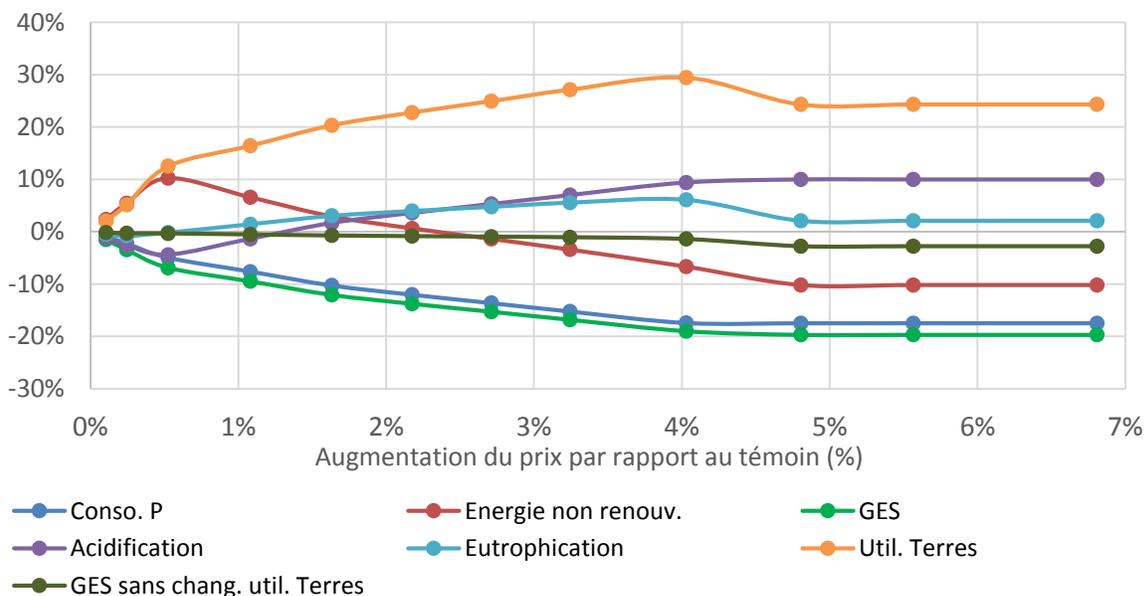
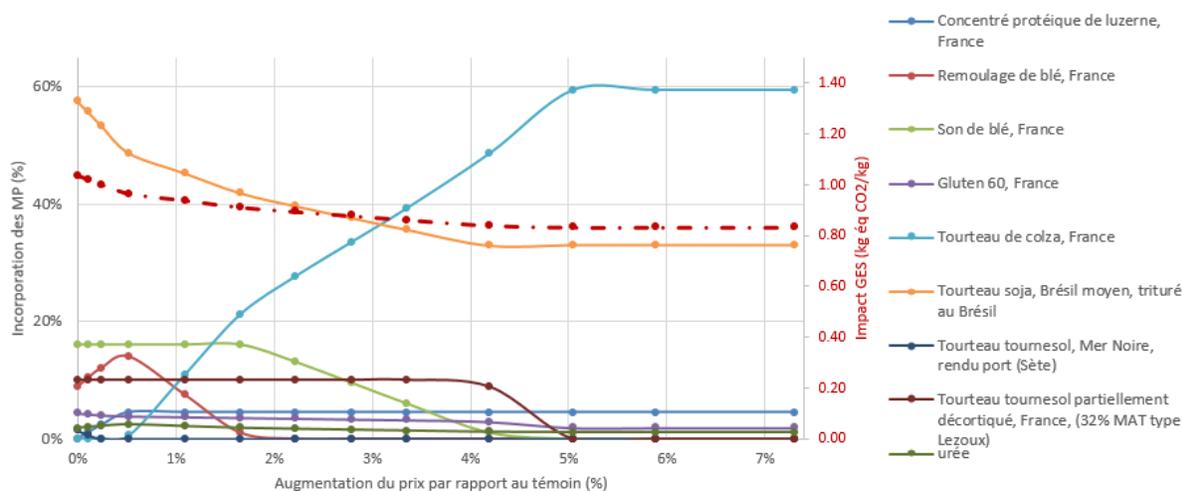


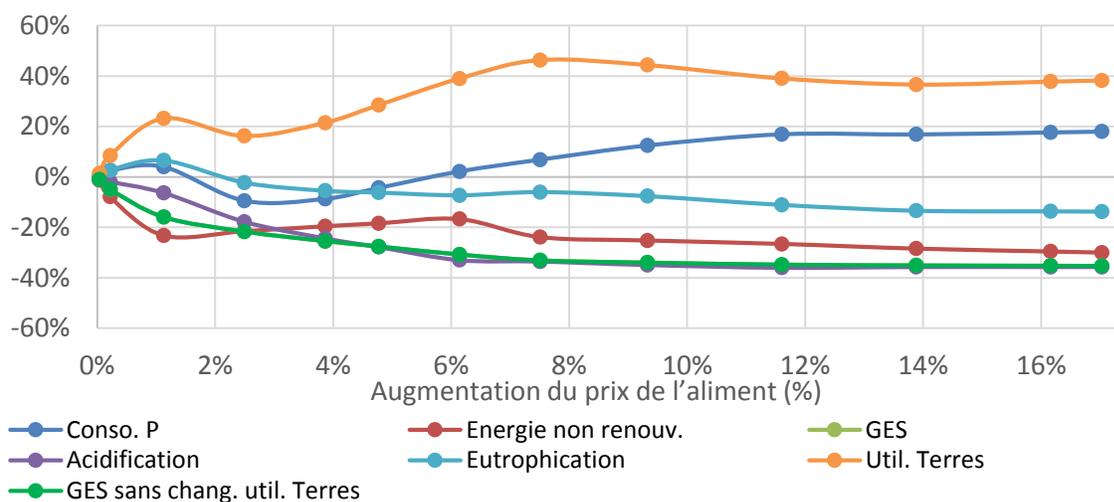
Figure 101 : Evolution de la composition de l'aliment VL40, lorsque les GES sont réduits sous contrainte de prix ; (Contexte juin2012, Grand Ouest, MP dispo)



Les mêmes analyses ont été effectuées pour l'aliment VL 18 (Figure 102). On observe que l'impact GES et l'impact GES sans changement d'utilisation des terres sont presque confondus, car il n'y a pas de tourteau de soja brésilien dans cette formule. Comme pour l'aliment VL40, il y a une divergence entre les impacts GES et utilisation des terres.

Contrairement à l'aliment VL40, l'Acidification et les GES présentent ici des courbes de même allure. Par contre, la Consommation de P et les GES ont ici des courbes d'allure différentes. Les impacts environnementaux évoluent donc de manière différente selon les caractéristiques des aliments.

Figure 102 : Evolution autres impacts environnementaux et du prix lorsque les GES sont réduits ; exemple de l'aliment VL 18 (Contexte juin2012, Grand Ouest, MP dispo)

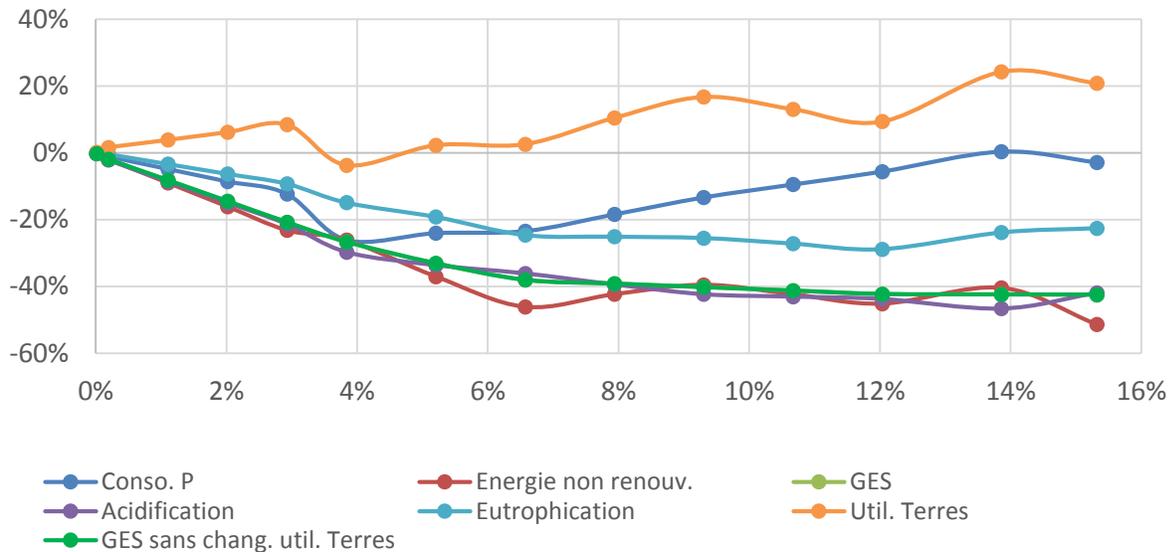


Pour l'aliment JB 27 (Figure 103), une importante réduction des GES peut être obtenue sans que l'impact Utilisation des terres n'augmente de plus de 10%, contrairement aux aliments VL40 et VL18. Sur ce type d'aliment (par rapport aux VL40 et VL18) et avec les hypothèses retenues, il apparaît plus facile de réduire les GES sans grande augmentation de l'utilisation des terres. De même, jusqu'à une réduction de 30% des GES, les autres impacts environnementaux sont également en réduction.

Ici aussi, l'impact GES et l'impact GES sans changement d'utilisation des terres, car il n'y a pas de tourteau de soja dans cette formule.

La légère introduction du concentré protéique de luzerne dans la composition peut se repérer lors de la hausse de la consommation d'énergies fossiles entre 6% et 14% d'augmentation du prix.

Figure 103 : Evolution autres impacts environnementaux et du prix lorsque les GES sont réduits ; exemple de l'aliment JB27 (Contexte juin2012, Grand Ouest, MP dispo)



Étape 3 : Analyse spécifique autour de quelques matières premières

Potentiel de réduction des impacts à l'échelle de l'aliment composé avec l'utilisation de MP avec leviers

Aliment VL18, contexte juin2012, usine du Grand Ouest

L'orge représente 25% de l'aliment.

Le levier « fertilisation organique » permet une baisse de -32% de l'impact Consommation de P ; Mais, l'impact Acidification augmente de 4%.

Le levier « couverture interculture » permet de diminuer de -4% l'Eutrophisation.

Aliment VL18, contexte février2014, usine du Grand Ouest

Les céréales représentent 35% de la composition de l'aliment (21% maïs, 14% orge).

Le levier « fertilisation organique » permet une baisse de -40% de l'impact Consommation de P et -2% de Consommation d'Energie, mais augmente l'Acidification de +2%.

Le levier « couverture interculture » diminue à la fois l'Eutrophisation (-6%) et l'Acidification (-3%).

Aliment VL40, contexte Aout2013, usine du Grand Ouest

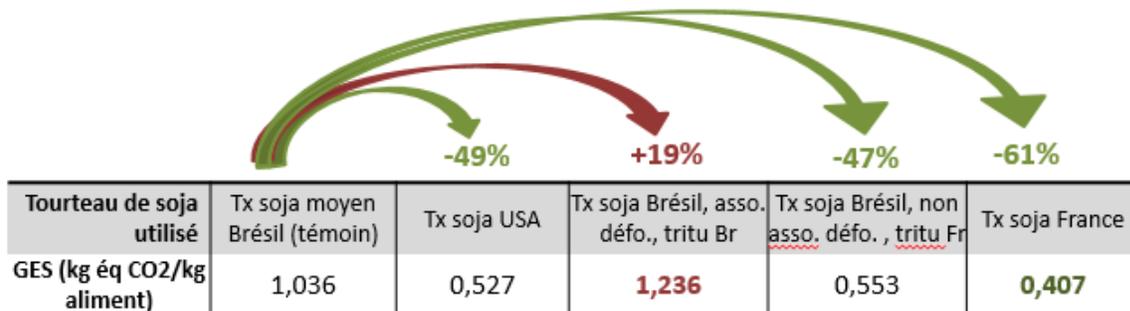
Le tourteau de colza représente 40% de l'aliment

Le levier « fertilisation organique » réduit de -14% la Consommation de P et de -3% l'Acidification.

Potentiel de réduction des impacts à l'échelle de l'aliment composé en changeant l'origine des MP – cas du tourteau de soja

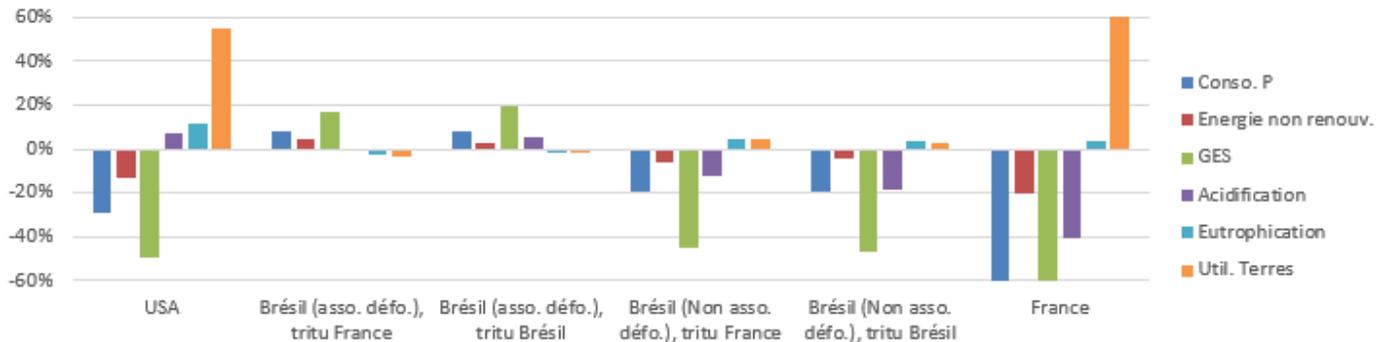
Le tourteau de soja est présent à 58% dans l'aliment témoin VL40. Avec une telle incorporation, le potentiel de réduction de l'empreinte carbone de l'aliment par simple changement d'origine du tourteau de soja est très élevé (effet de l'impact dû à la déforestation associée à la culture du soja brésilien).

Tableau 51 : Evolution de l'impact GES de l'aliment VL40 en fonction de l'origine du tourteau de soja



Attention toutefois à ne pas orienter le choix de l'origine en fonction d'un seul critère car les tourteaux de soja d'origine USA et France ont un impact Utilisation des terres bien plus fort (Figure 104).

Figure 104 : Effet de l'origine du tourteau de soja sur l'impact environnemental de l'aliment VL40 (contexte Juin-12, Grand Ouest)



Potentiel de réduction des impacts à l'échelle de l'aliment composé en utilisant des MP peu ou pas utilisées

Une simulation de la réduction maximale des impacts environnementaux un à un a été effectuée en élargissant la liste de MP (dispo/non dispo, avec/sans prix connu, leviers itinéraires cultures, toutes origines des MP).

Apparaissent alors des MP sans prix connu ou peu disponibles sur le marché :

- Tourteau de maïs (germes déshuilés)
- Graines de soja extrudées (Fr)
- Vinasse de betterave
- Coproduits de pain (avec comme caractéristiques nutritionnelles celles du pain rassis)
- Drêches de maïs (distillerie, USA)
- Tourteaux de soja de différentes origines (Brésil, associé ou non à de la déforestation, USA)
- Sorgho

Ces matières premières sont potentiellement d'intérêt environnemental pour la réduction d'un ou plusieurs impacts environnementaux.

La Figure 105 montre les matières premières qui apparaissent pour l'aliment VL40 : tourteau de maïs apparait (2 fois), vinasse de betterave (3 fois), coproduits du pain (2 fois) et de graines de soja extrudées (origine France).

Pour l'aliment VL18 (Figure 106), les mêmes MP sans prix apparaissent. Le sorgho, considéré comme peu disponible, apparait également (4 fois).

Figure 105 : Compositions de l'aliment VL40 avec liste des Matières Premières élargies, en optimisant les impacts environnementaux un par un

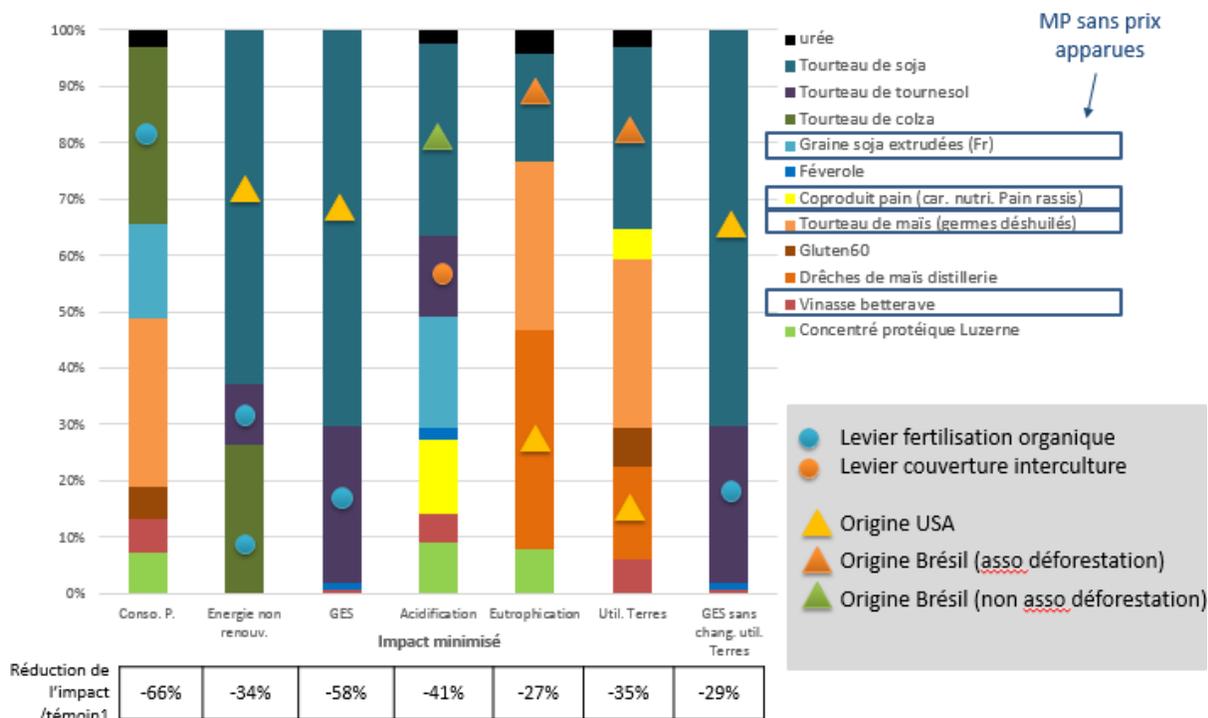
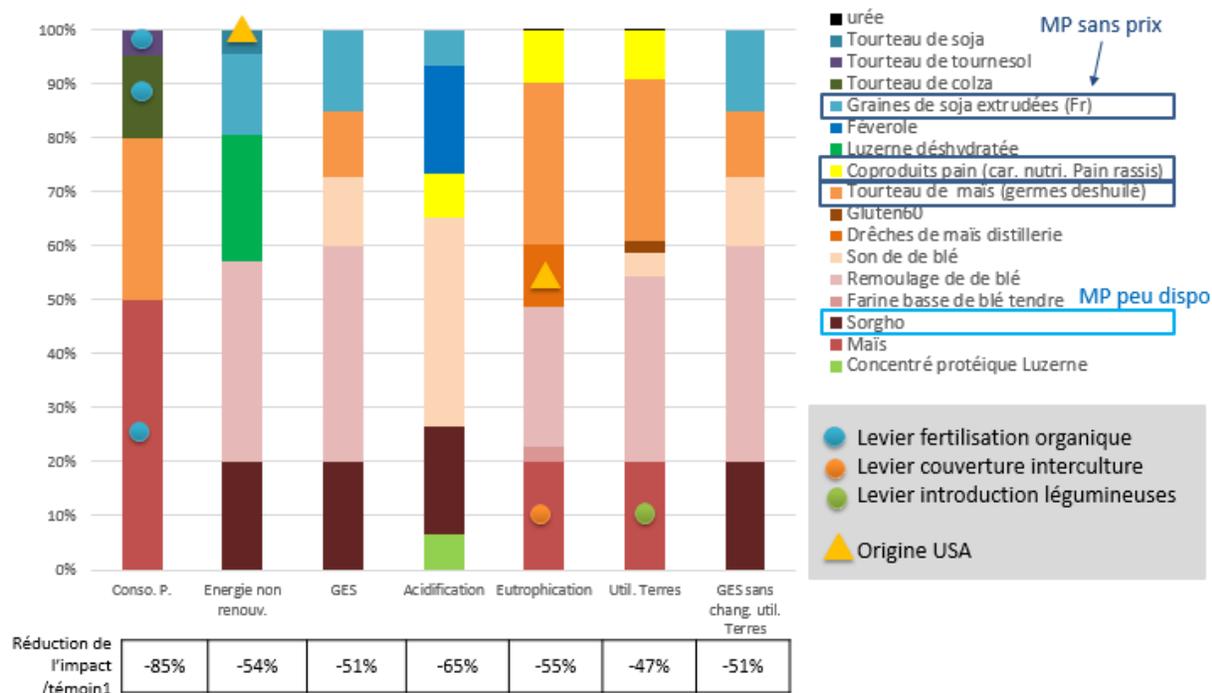


Figure 106 : Compositions de l'aliment VL18 avec liste des Matière Première élargies, en optimisant les impacts environnementaux un par un



La formulation multi-objectifs est nécessaire afin de vérifier que leur introduction n'a pas d'effet négatif sur d'autres impacts environnementaux, tout en prenant en compte la contrainte de prix lors de la formulation.

Étape 4 : Optimisation multicritère

Disponibilité des matières premières limitée et approvisionnement Grand Ouest

Tableau 52 : Impacts environnementaux de l'aliment VL 40 – Aliment optimisé (fonction multiobjectif, contexte de MP limité, Situation Grand Ouest)

Impacts environnementaux	Septembre 2011	Juin 2012	Août 2012	Février 2014	Moyenne 2011-2014
1-Prix	368.85	277.60	359.89	403.14	352.37
2-Conso. Phosphore	7.59E-03	7.59E-03	7.57E-03	7.59E-03	7.59E-03
3-Energie non renouv.	6.92E+00	6.92E+00	7.04E+00	6.92E+00	6.95E+00
4-GES	8.89E-01	8.89E-01	8.92E-01	8.89E-01	8.90E-01
5-Acidification	9.42E-03	9.42E-03	9.45E-03	9.42E-03	9.43E-03
6-Eutrophication	4.01E-03	4.01E-03	4.04E-03	4.01E-03	4.02E-03
7-Util. Terres	1.47E+00	1.47E+00	1.47E+00	1.47E+00	1.47E+00
8-GES sans chang. util. Terres	5.83E-01	5.83E-01	5.89E-01	5.83E-01	5.84E-01
Terrestrial eutrophication ILCD	3.47E-02	3.47E-02	3.48E-02	3.47E-02	3.48E-02
Freshwater eutrophication ILCD	2.65E-04	2.65E-04	2.70E-04	2.65E-04	2.66E-04
Marine eutrophication ILCD	6.02E-03	6.02E-03	6.01E-03	6.02E-03	6.02E-03
Acidification CML baseline	6.18E-03	6.18E-03	6.20E-03	6.18E-03	6.19E-03
Global warming (GWP100a) CML baseline	8.89E-01	8.89E-01	8.92E-01	8.89E-01	8.90E-01
CED1.8 total	9.31E+00	9.31E+00	9.41E+00	9.31E+00	9.33E+00

Tableau 53 : Composition de l'aliment VL 40 – Aliment optimisé (fonction multiobjectif, contexte de MP limité, Situation Grand Ouest)

Nom	Septembre 2011	Juin 2012	Août 2012	Février 2014	Moyenne 2011-2014
Concentré protéique de luzerne, France	1.70	1.70	1.77	1.70	1.72
Remoulage de blé, France	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Son de blé, France	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Drêche de distillerie de maïs, France	0.00	0.00	0.82	0.00	0.20
Gluten 60, France	2.12	2.12	2.11	2.12	2.11
Tourteau de colza, France	54.86	54.86	54.21	54.86	54.70
Tourteau soja, Brésil moyen, trituré au Brésil	40.45	40.45	40.17	40.45	40.38
Tourteau tournesol, Mer Noire, rendu port (Sète)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tourteau tournesol non décortiqué, France	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tourteau tournesol partiellement décortiqué, France, (32% MAT type Lezoux)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
urée	0.88	0.88	0.92	0.88	0.89

Tableau 54 : Impacts environnementaux de l'aliment VL 18 – Aliment optimisé (fonction multiobjectif, contexte de MP limité, Situation Grand Ouest)

Impacts environnementaux	Septembre 2011	Juin 2012	Août 2012	Février 2014	Moyenne 2011-2014
1-Prix	221.97	204.43	215.90	246.83	222.28
2-Conso. Phosphore	2.55E-03	2.23E-03	2.52E-03	2.13E-03	2.36E-03
3-Energie non renouv.	4.65E+00	4.11E+00	5.19E+00	4.41E+00	4.59E+00
4-GES	4.27E-01	3.76E-01	4.28E-01	3.85E-01	4.04E-01
5-Acidification	8.15E-03	7.19E-03	7.12E-03	7.83E-03	7.57E-03
6-Eutrophication	3.07E-03	2.51E-03	3.15E-03	2.53E-03	2.82E-03
7-Util. Terres	8.71E-01	7.98E-01	9.08E-01	7.84E-01	8.40E-01
8-GES sans chang. util. Terres	4.26E-01	3.76E-01	4.28E-01	3.85E-01	4.04E-01
Terrestrial eutrophication ILCD	3.37E-02	3.00E-02	2.95E-02	3.27E-02	3.15E-02
Freshwater eutrophication ILCD	9.71E-05	7.67E-05	2.20E-04	8.24E-05	1.19E-04
Marine eutrophication ILCD	4.67E-03	3.75E-03	3.43E-03	3.60E-03	3.86E-03
Acidification CML baseline	4.88E-03	4.29E-03	4.28E-03	4.64E-03	4.52E-03
Global warming (GWP100a) CML baseline	4.27E-01	3.76E-01	4.28E-01	3.85E-01	4.04E-01
CED1.8 total	4.74E+00	4.29E+00	5.27E+00	4.60E+00	4.72E+00

Tableau 55 : Composition de l'aliment VL 18 – Aliment optimisé (fonction multiobjectif, contexte de MP limité, Situation Grand Ouest)

Nom	Septembre 2011	Juin 2012	Août 2012	Février 2014	Moyenne 2011-2014
Concentré protéique de luzerne, France	0.00	0.00	1.77	0.00	0.44
Pulpe de betterave déshydratée, France	3.18	16.56	0.00	15.41	8.79
Blé tendre, France	0.00	20.00	21.25	0.00	10.31
Maïs grain, France	1.06	0.00	0.00	20.00	5.26
Orge, France	30.48	0.00	0.00	0.00	7.62
Sorgho, France	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Farine basse de blé tendre, France	0.00	7.43	5.98	4.86	4.57
Gluten feed de blé, France	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Remouillage de blé, France	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00
Son de blé, France	15.00	7.57	9.02	10.14	10.43
Corn gluten feed, France	15.00	0.00	0.00	0.00	3.75
Drêche de distillerie de maïs, France	0.00	0.00	19.00	0.00	4.75
Gluten 60, France	7.02	4.73	0.00	4.96	4.18
Pois, France	2.26	0.00	0.00	0.00	0.57
Tourteau de colza, France	0.00	17.71	16.98	18.63	13.33
Tourteau soja, Brésil moyen, trituré au Brésil	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
urée	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tableau 56 : Impacts environnementaux de l'aliment JB 27 – Aliment optimisé (fonction multiobjectif, contexte de MP limité, Situation Grand Ouest)

Impacts environnementaux	Septembre 2011	Juin 2012	Août 2012	Février 2014	Moyenne 2011-2014
1-Prix	224.44	192.62	216.18	241.37	218.65
2-Conso. Phosphore	1.93E-03	2.04E-03	2.08E-03	2.04E-03	2.02E-03
3-Energie non renouv.	6.00E+00	3.58E+00	3.50E+00	3.58E+00	4.16E+00
4-GES	4.62E-01	3.54E-01	3.52E-01	3.54E-01	3.80E-01
5-Acidification	7.53E-03	6.84E-03	6.62E-03	6.84E-03	6.96E-03
6-Eutrophication	2.84E-03	2.19E-03	2.20E-03	2.19E-03	2.36E-03
7-Util. Terres	7.21E-01	7.86E-01	7.85E-01	7.86E-01	7.70E-01
8-GES sans chang. util. Terres	4.62E-01	3.53E-01	3.52E-01	3.53E-01	3.80E-01
Terrestrial eutrophication ILCD	2.91E-02	2.79E-02	2.70E-02	2.79E-02	2.80E-02
Freshwater eutrophication ILCD	9.66E-05	7.42E-05	7.23E-05	7.42E-05	7.93E-05
Marine eutrophication ILCD	4.44E-03	3.17E-03	3.26E-03	3.17E-03	3.51E-03
Acidification CML baseline	4.69E-03	4.13E-03	4.01E-03	4.13E-03	4.24E-03
Global warming (GWP100a) CML baseline	4.62E-01	3.54E-01	3.52E-01	3.54E-01	3.80E-01
CED1.8 total	6.13E+00	3.67E+00	3.58E+00	3.67E+00	4.26E+00

Tableau 57 : Composition de l'aliment JB 27 – Aliment optimisé (fonction multiobjectif, contexte de MP limité, Situation Grand Ouest)

Nom	Septembre 2011	Juin 2012	Août 2012	Février 2014	Moyenne 2011-2014
Concentré protéique de luzerne, France	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Pulpe de betterave déshydratée, France	4.04	0.00	0.00	0.00	1.01
Avoine, France	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Blé tendre, France	0.00	0.00	8.00	0.00	2.00
Maïs grain, France	0.00	8.00	0.00	8.00	4.00
Orge, France	8.00	0.00	0.00	0.00	2.00
Drêche de distillerie de blé, France	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Farine basse de blé tendre, France	0.00	8.63	9.19	8.63	6.61
Gluten feed de blé, France	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Remoulage de blé, France	11.00	30.00	30.00	30.00	25.25
Son de blé, France	30.00	2.37	1.81	2.37	9.14
Corn gluten feed, France	30.00	5.67	6.90	5.67	12.06
Drêche de distillerie de maïs, France	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Gluten 60, France	6.08	0.00	0.00	0.00	1.52
Pois, France	8.79	0.00	0.00	0.00	2.20
Tourteau de colza, France	0.00	44.11	42.87	44.11	32.77
Tourteau soja, Brésil moyen, trituré au Brésil	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
urée	2.08	1.23	1.23	1.23	1.44

Disponibilité des matières premières élargie et approvisionnement Grand Ouest

Tableau 58 : Impacts environnementaux de l'aliment VL 40 – Aliment optimisé (fonction multiobjectif, contexte de MP non limité, Situation Grand Ouest)

Impacts environnementaux	Septembre 2011	Juin 2012	Août 2012	Février 2014	Moyenne 2011-2014
1-Prix	368.85	277.60	359.89	403.14	352.37
2-Conso. Phosphore	7.59E-03	7.59E-03	7.57E-03	7.59E-03	7.59E-03
3-Energie non renouv.	6.92E+00	6.92E+00	7.04E+00	6.92E+00	6.95E+00
4-GES	8.89E-01	8.89E-01	8.92E-01	8.89E-01	8.90E-01
5-Acidification	9.42E-03	9.42E-03	9.45E-03	9.42E-03	9.43E-03
6-Eutrophication	4.01E-03	4.01E-03	4.04E-03	4.01E-03	4.02E-03
7-Util. Terres	1.47E+00	1.47E+00	1.47E+00	1.47E+00	1.47E+00
8-GES sans chang. util. Terres	5.83E-01	5.83E-01	5.89E-01	5.83E-01	5.84E-01
Terrestrial eutrophication ILCD	3.47E-02	3.47E-02	3.48E-02	3.47E-02	3.48E-02
Freshwater eutrophication ILCD	2.65E-04	2.65E-04	2.70E-04	2.65E-04	2.66E-04
Marine eutrophication ILCD	6.02E-03	6.02E-03	6.01E-03	6.02E-03	6.02E-03
Acidification CML baseline	6.18E-03	6.18E-03	6.20E-03	6.18E-03	6.19E-03
Global warming (GWP100a) CML baseline	8.89E-01	8.89E-01	8.92E-01	8.89E-01	8.90E-01
CED1.8 total	9.31E+00	9.31E+00	9.41E+00	9.31E+00	9.33E+00

Tableau 59 : Composition de l'aliment VL 40 – Aliment optimisé (fonction multiobjectif, contexte de MP non limité, Situation Grand Ouest)

Nom	Septembre 2011	Juin 2012	Août 2012	Février 2014	Moyenne 2011-2014
Concentré protéique de luzerne, France	1.70	1.70	1.77	1.70	1.72
Remoulage de blé, France	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Son de blé, France	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Drêche de distillerie de maïs, France	0.00	0.00	0.82	0.00	0.20
Gluten 60, France	2.12	2.12	2.11	2.12	2.11
Tourteau de colza, France	54.86	54.86	54.21	54.86	54.70
Tourteau soja, Brésil moyen, trituré au Brésil	40.45	40.45	40.17	40.45	40.38
Tourteau tournesol, Mer Noire, rendu port (Sète)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tourteau tournesol non décortiqué, France	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tt tournesol partiellement décortiqué, France	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
urée	0.88	0.88	0.92	0.88	0.89

Tableau 60 : Impacts environnementaux de l'aliment VL 18 – Aliment optimisé (fonction multiobjectif, contexte de MP non limité, Situation Grand Ouest)

Impacts environnementaux	Septembre 2011	Juin 2012	Août 2012	Février 2014	Moyenne 2011-2014
1-Prix	205.75	192.98	215.84	221.72	209.07
2-Conso. Phosphore	2.27E-03	2.05E-03	2.07E-03	2.00E-03	2.10E-03
3-Energie non renouv.	3.59E+00	3.63E+00	3.76E+00	3.94E+00	3.73E+00
4-GES	3.32E-01	3.42E-01	3.48E-01	3.53E-01	3.44E-01
5-Acidification	5.67E-03	6.77E-03	6.74E-03	7.05E-03	6.56E-03
6-Eutrophication	2.42E-03	2.42E-03	2.51E-03	2.51E-03	2.47E-03
7-Util. Terres	7.98E-01	6.39E-01	6.51E-01	6.43E-01	6.83E-01
8-GES sans chang. util. Terres	3.32E-01	3.41E-01	3.48E-01	3.53E-01	3.43E-01
Terrestrial eutrophication ILCD	2.31E-02	2.80E-02	2.79E-02	2.92E-02	2.71E-02
Freshwater eutrophication ILCD	1.09E-04	7.24E-05	9.28E-05	9.51E-05	9.24E-05
Marine eutrophication ILCD	3.65E-03	3.65E-03	3.60E-03	3.53E-03	3.61E-03
Acidification CML baseline	3.43E-03	4.03E-03	4.02E-03	4.19E-03	3.92E-03
Global warming (GWP100a) CML baseline	3.32E-01	3.42E-01	3.48E-01	3.53E-01	3.44E-01
CED1.8 total	3.78E+00	3.70E+00	3.82E+00	4.00E+00	3.82E+00

Tableau 61 : Composition de l'aliment VL 18 – Aliment optimisé (fonction multiobjectif, contexte de MP non limité, Situation Grand Ouest)

Nom	Septembre 2011	Juin 2012	Août 2012	Février 2014	Moyenne 2011-2014
Concentré protéique de luzerne, France	0.00	0.05	0.14	0.00	0.05
Pulpe de betterave déshydratée, France	1.67	2.19	0.00	0.00	0.97
Blé tendre, France	0.00	20.00	16.15	0.00	9.04
Maïs grain, France	0.00	0.00	0.00	10.66	2.67
Orge, France	0.00	0.00	3.85	9.34	3.30
Sorgho, France	20.27	0.00	0.00	0.00	5.07
Farine basse de blé tendre, France	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Gluten feed de blé, France	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Remoulage de blé, France	32.91	38.24	40.00	40.00	37.79
Son de blé, France	37.09	31.76	30.00	30.00	32.21
Corn gluten feed, France	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Drêche de distillerie de maïs, France	0.00	0.00	2.69	2.54	1.31

Gluten 60, France	8.05	7.76	7.17	7.46	7.61
Pois, France	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tourteau de colza, France	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tourteau soja, Brésil moyen, trituré au Brésil	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
urée	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tableau 62 : Impacts environnementaux de l'aliment JB 27 – Aliment optimisé (fonction multiobjectif, contexte de MP non limité, Situation Grand Ouest)

Impacts environnementaux	Septembre 2011	Juin 2012	Août 2012	Février 2014	Moyenne 2011-2014
1-Prix	213.55	191.00	212.66	219.29	209.12
2-Conso. Phosphore	1.70E-03	1.76E-03	1.76E-03	1.61E-03	1.71E-03
3-Energie non renouv.	5.45E+00	4.12E+00	4.12E+00	6.25E+00	4.99E+00
4-GES	4.26E-01	3.56E-01	3.56E-01	4.60E-01	3.99E-01
5-Acidification	7.14E-03	6.33E-03	6.33E-03	6.89E-03	6.67E-03
6-Eutrophication	2.43E-03	2.08E-03	2.08E-03	2.70E-03	2.32E-03
7-Util. Terres	5.22E-01	6.00E-01	6.00E-01	5.70E-01	5.73E-01
8-GES sans chang. util. Terres	4.26E-01	3.56E-01	3.56E-01	4.59E-01	3.99E-01
Terrestrial eutrophication ILCD	2.74E-02	2.49E-02	2.49E-02	2.62E-02	2.58E-02
Freshwater eutrophication ILCD	8.08E-05	6.97E-05	6.97E-05	1.87E-04	1.02E-04
Marine eutrophication ILCD	3.68E-03	3.09E-03	3.09E-03	2.98E-03	3.21E-03
Acidification CML baseline	4.43E-03	3.89E-03	3.89E-03	4.31E-03	4.13E-03
Global warming (GWP100a) CML baseline	4.26E-01	3.56E-01	3.56E-01	4.60E-01	3.99E-01
CED1.8 total	5.54E+00	4.20E+00	4.20E+00	6.33E+00	5.07E+00

Tableau 63 : Composition de l'aliment JB 27 – Aliment optimisé (fonction multiobjectif, contexte de MP non limité, Situation Grand Ouest)

Nom	Septembre 2011	Juin 2012	Août 2012	Février 2014	Moyenne 2011-2014
Concentré protéique de luzerne, France	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pulpe de betterave déshydratée, France	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Avoine, France	0.00	0.00	0.00	5.12	1.28
Blé tendre, France	0.00	8.00	8.00	0.00	4.00
Maïs grain, France	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Orge, France	8.00	0.00	0.00	2.88	2.72
Drêche de distillerie de blé, France	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Farine basse de blé tendre, France	1.06	8.63	8.63	10.00	7.08
Gluten feed de blé, France	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Remoulage de blé, France	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
Son de blé, France	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
Corn gluten feed, France	22.46	0.00	0.00	0.00	5.62
Drêche de distillerie de maïs, France	0.00	0.00	0.00	15.05	3.76
Gluten 60, France	6.21	4.54	4.54	4.25	4.89
Pois, France	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tourteau de colza, France	0.00	16.89	16.89	0.00	8.44
Tourteau soja, Brésil moyen, trituré au Brésil	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
urée	2.26	1.94	1.94	2.69	2.21

ANNEXE 4 : RESULTATS DETAILLES DE L'APPROCHE TERRITORIALE

Étape 1 : Situation de références

Les 13 indicateurs du développement durable figurant dans la base ECOALIM sont les suivants et correspondent aux notations retenues dans le modèle FEEDSIM

GES : GES sans changement d'utilisation des terres (kg CO₂ eq)

GESLUC : Emission de GES (kg CO₂ eq)

GESCML : Réchauffement climatique (kg CO₂ eq) (méthode CML)

ENTOT : Consommation d'énergie totale (MJ)

CUMULEN : Consommation d'énergie non renouvelable (MJ)

TECOT : Consommation de phosphore (kg P)

LANDOC : Utilisation des terres (m²a)

ACID : Acidification (molc H⁺ eq)

ACIDCML : Acidification (kg SO₂ eq) (méthode CML)

EUTRO : Eutrophication (kg PO₄³⁻ eq)

EUTROTER : Eutrophication terrestre (molc N eq) (méthode ILCD)

EUTRODOU : Eutrophication eau douce (kg P eq) (méthode ILCD)

EUTROMER : Eutrophication marine (kg N eq) (méthode ILCD)

Les 7 premiers indicateurs ont une portée globale alors que les 6 derniers ont une portée locale.

Moyenne annuelle des indicateurs de développement durable

Le tableau suivant indique les valeurs globales des différents indicateurs en moyenne annuelle correspondant au Grand-ouest, à la Bretagne et aux Pays de la Loire, les valeurs pour la Basse-Normandie qui produit très peu d'aliments composés étant très faible.

	Gd ouest	Bretagne	Pays de la loire
GES sans changement sol (Tonne eqCO ₂)	6345728	4211673	1905745
GES avec changement sol (Tonne eqCO ₂)	8200087	5390804	2502849
GES CML (Tonne eqCO ₂)	8200017	5390758	2502828
Acidification (1000 molc H ⁺)	121919	82040	35875
Acidification CML (Tonne SO ₂ eq)	75417	50580	22324
Eutrophication (Tonne eqPO ₄ ³⁻)	47164	31716	13825
Occupation des sols (1000 m ² =0,1 ha)	17322255	11673921	5037958
Conso phosphore (Tonne Phosphore)	82569	55347	24889 ¹⁴

En ce qui concerne les principaux indicateurs, les émissions de CO₂ des matières premières utilisées dans les aliments composés du Grand-ouest (y compris la part imputable au transport routier et ferroviaire sur le sol français, mais non compris celle liée au processus de fabrication des aliments composés) représentent 8.2 Millions de tonnes (Mt) avec changement d'affectation des sols (GESLUC et GESCML) et 6.35 sans changement des sols (soit 23% de moins imputable

surtout aux facteurs d'émissions du tourteau de soja). La Bretagne représente à elle seule 66% du total.

Pour l'occupation des sols on a un chiffre pour le Grand-ouest de 1.73 millions d'hectares (Mha) dont 1.17 pour la Bretagne (68%), enfin pour la consommation de phosphore on est à 82.6 milliers de tonnes pour le Grand-ouest dont 55.3 en Bretagne (67%).

FEEDSIM AVENIR
Association pour la promotion de la recherche et de l'analyse économique sur l'agriculture et l'agro-industrie du Grand-Ouest

Indicateurs de durabilité de l'approvisionnement en matières premières des entreprises du Grand-Ouest de nutrition animale (hors process FAB) – Moyenne annuelle 2011 - 2014

	Gd ouest	Bretagne	Pays de la Loire
Eutrophisation terrestre (1000 molc Neq)	485052	327784	141536
Eutrophisation eau douce (Tonne Peq)	2446	1611	745
Eutrophisation marine (Tonne Neq)	67786	45730	19719
Utilisation d'énergie non renouvelable (1000 MJ)	69215478	45565311	20923312
Energie totale (1000 MJ)	90335172	57521536	29070666

Une part de la Bretagne comprise entre 64 (Entot) et 68 %¹⁵ (Eutroter)

Pour l'énergie, la consommation dans le Grand-ouest est au total de 90.3 milliards de Joules (MMJ) dont 69.2 MMJ (77%) sous forme d'énergie non renouvelable. La part de la Bretagne est de 64% pour l'énergie totale et de 66% pour l'énergie non renouvelable.

Part du transport

Le transport intérieur français par route et fer intervient dans le niveau des différents indicateurs de développement durable, mais toujours de façon modeste. Il est le plus important pour l'énergie non renouvelable avec 6.5 à 6.6% du total des consommations de MJ en raison du poids significatif du carburant pour les camions. Pour la même raison liée au carburant « pétrole », il intervient pour 3.4% dans les GES avec changement d'usage du sol et pour 4.4% sans changement d'affectation du sol. Pour tous les autres indicateurs le pourcentage est extrêmement faible (maximum de 1.6% pour l'acidification).

On n'observe pas de différence notable dans les pourcentages entre les diverses régions.

Part du transport intérieur France (fer et route)
 dans les indicateurs totaux de durabilité de
 l'approvisionnement en MP (MP+Transport)

	BRETAGNE	PAYS DE LA LOIRE	GRAND- OUEST
GES sans changement sol	4,4%	4,4%	4,4%
GES avec changement sol	3,4%	3,4%	3,4%
Acidification	1,5%	1,6%	1,6%
Eutrophisation	0,6%	0,6%	0,6%
Utilisation d'énergie non renouvelable	6,5%	6,5%	6,6%
Occupation des sols (m2/tonne MB)	0,1%	0,1%	0,1%
Conso phosphore	0,0%	0,0%	0,0%

Part significative pour énergie non renouvelable et GES sans changement sol ¹⁵

Variabilité interannuelle des indicateurs de développement durable

Pour analyser les variations des différents indicateurs en fonction de la période (année, mois) ou selon la catégorie d'aliments composés, il convient de rapporter chaque indicateur au tonnage d'aliments composés concerné.

Pour la Bretagne les émissions de GES ont été en moyenne de 514,4 kg eq CO₂/tonne sans prise en compte du changement d'affectation des sols (mini 510 en 2011 et maxi 516 en 2013) et de 658,3 kg eq CO₂/tonne avec prise en compte de ce facteur (pour GESLUC et GESCML mini de 647 en 2014 et maxi de 665 en 2011). Les différences entre les niveaux et les extrêmes de valeurs de GES et GESLUC s'expliquent, comme pour les autres indicateurs, par la composition en matières premières des aliments. Cela s'explique principalement par la proportion de coproduits céréaliers, de protéagineux et de l'équilibre entre les différentes céréales (blé/maïs/orge). Dans le cas des GESLUC, la proportion de tourteau de soja dans les formules au cours de chaque année (et donc par la compétitivité prix de ce produit au cours de la période notamment par rapport aux tourteaux de colza et tournesol et par rapport à certains coproduits comme les drèches), est un facteur explicatif majeur compte tenu des émissions de GESLUC attribuées à ce produit.

Pour l'occupation des sols, la moyenne est de 1426,1 m²/t, soit 0,143 ha/t (avec un minimum de 0.140 ha/t en 2012 et un maximum de 0.146 en 2014). Ces variations peuvent s'expliquer par des modifications de la part des céréales (en particulier du blé et du maïs) qui ont un coefficient d'occupation du sol nettement plus faible que les protéagineux ou les tourteaux.

La consommation de Phosphore pour sa part, varie entre 6.5 et 7.1 kg P/t avec une moyenne de 6,8. La part des minéraux dans le tonnage total des aliments composés et donc le poids des aliments bovins et volailles de ponte peut expliquer ces variations.

FEEDSIM AVENIR
Association pour la promotion de la recherche et de l'analyse économique sur l'agriculture et l'agro-industrie du Grand Ouest

Indicateurs de Durabilité de l'approvisionnement en matières premières des entreprises bretonnes de nutrition animale (hors process FAB)

/ Tonne AC	2011	2012	2013	2014
GES sans changement sol (kg eqCO2/tonne d'AC)	510,1	515,7	516,2	515,7
GES avec changement sol	665,4	658,8	661,8	647,0
GES CML (kg eqCO2/tonne d'AC)	665,4	658,8	661,8	647,0
Acidification (molc H+/tonne d'AC)	9,9	10,1	10,0	10,1
Acidification CML (kg SO2eq/tonne d'AC)	6,1	6,2	6,2	6,2
Occupation des sols (m2/tonne d'AC)	1411,9	1398,9	1436,4	1457,7
Conso phosphore (kg P/tonne d'AC)	7,1	6,6	6,8	6,5 ¹

Pour tous les indicateurs liés à l'eutrophisation on observe une grande stabilité. En ce qui concerne l'énergie il faut en moyenne 5566,4 MJ d'énergie non renouvelable par tonne d'aliments.

FEEDSIM AVENIR
Association pour la promotion de la recherche et de l'analyse économique sur l'agriculture et l'agro-industrie du Grand Ouest

Indicateurs de durabilité de l'approvisionnement en matières premières des entreprises bretonnes de nutrition animale (hors process)

/ Tonne AC	2011	2012	2013	2014
Eutrophisation (kg eqPO4 3-/tonne d'AC)	3,88	3,85	3,88	3,88
Eutrophisation terrestre (molc Neq/tonne d'AC)	39,4	40,4	40,0	40,3
Eutrophisation eau douce (kg Peq/tonne d'AC)	0,2	0,2	0,2	0,2
Eutrophisation marine (kg Neq/tonne d'AC)	5,6	5,5	5,6	5,6
Energie totale (MJ/tonne d'AC)	7177,8	7051,0	7076,9	6782,6
Energie non renouvelable (MJ/tonne d'AC)	5483,6	5625,3	5579,0	5573,1

21

Variabilité inter mensuelle des indicateurs de développement durable

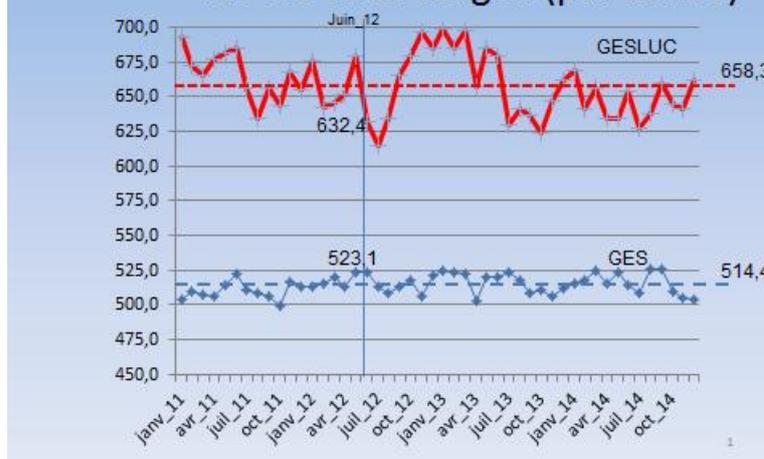
On constate qu'au niveau annuel les variations des valeurs des différents indicateurs rapportés à la tonne d'aliments composés sont faibles. Au niveau mensuel, on peut calculer les coefficients de variation de ceux-ci.

Coefficients de variation (CV) mensuelle des Indicateurs de durabilité de l'approvisionnement en matières premières des entreprises bretonnes de nutrition animale (hors process FAB) – sur 48 mois 2011 - 2014

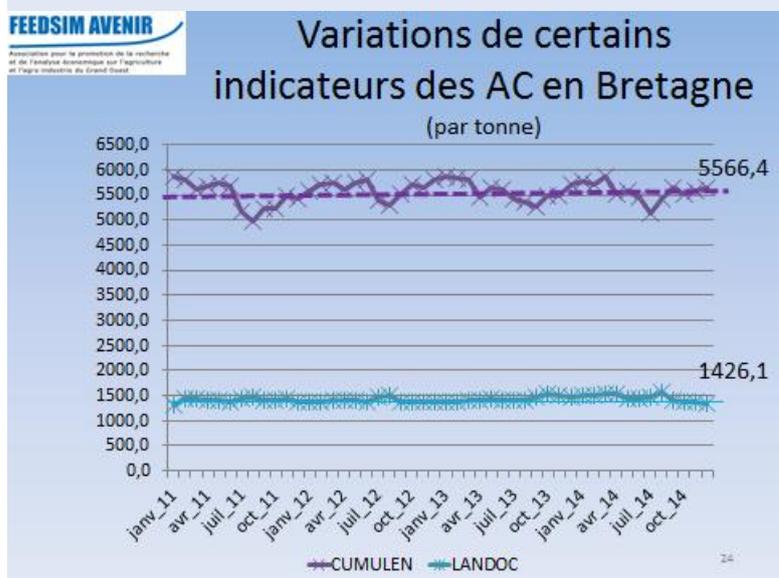
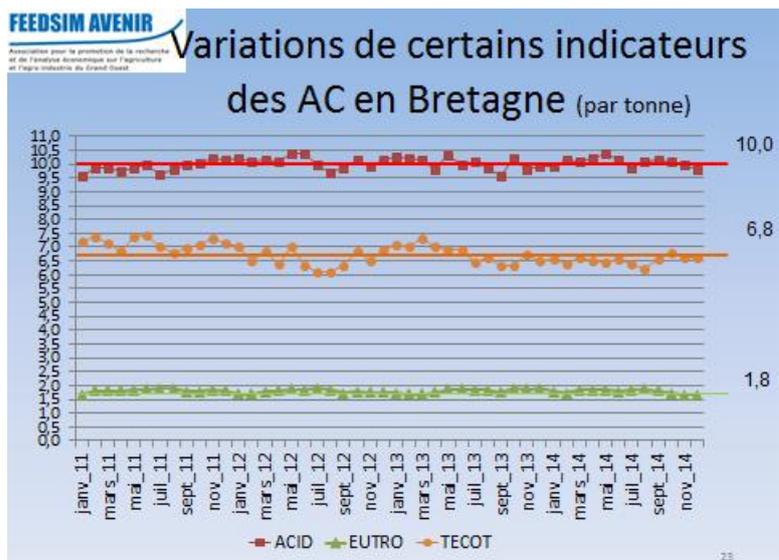
GES sans changement sol (kg eqCO2/tonneAC)	1,4 %	GES avec changement sol	3,3 %
GES CML (kg eqCO2/tonne)	3,3 %	Eutrophisation terrestre (molc Neq/tonne)	2,3 %
Eutrophisation (kg eqPO4 3-/tonne MB)	2,0 %	Eutrophisation eau douce (kg Peq/tonne)	4,9 %
Conso phosphore (kg P/tonne MB)	5,4 %	Eutrophisation marine (kg Neq/tonne)	2,8 %
Acidification (molc H+/tonne MB)	2,1 %	Acidification CML (kg SO2eq/tonne)	1,9 %
Occupation des sols (m2/tonne MB)	3,9 %		
Utilisation d'énergie non renouvelable (MJ/tonne MB)	3,8 %	Energie totale (MJ/tonne)	5,9 %

La valeur la plus élevée (5.9%) est observée pour l'énergie totale suivie du Phosphore (5.4%). Ces variations s'expliquent sans doute par les variations saisonnières de la part de certains aliments composés (VL40 par exemple au sein de la catégorie bovins) et les modifications des incorporations globales des diverses matières premières en fonction des prix.

Variations des émissions de GES des AC en Bretagne (par tonne)



En ce qui concerne les GES le coefficient de variation est sensiblement plus élevé (3.3% pour GESLUC et GESCML) quand on prend en compte l'affectation des sols que pour GES (1.4% sans prise en compte). Cela s'explique comme indiqué précédemment par la forte sensibilité de l'indicateur GESLUC aux variations d'incorporation du tourteau de soja. Cela s'explique aussi par la variabilité des incorporations de coproduits céréaliers et des diverses céréales.



Variabilité des indicateurs de développement durable et incorporations des matières premières

Toutes les matières premières incorporées dans les aliments composés ont une certaine contribution à la valeur globale de chaque indicateur par tonne d'aliment qui dépend à la fois a) du pourcentage d'incorporation et b) de la valeur unitaire de l'indicateur pour la matière première considérée. Ainsi certains produits comme les acides aminés industriels sont incorporés à des pourcentages très faibles mais ont des valeurs unitaires d'indicateurs généralement très élevées (sauf pour LANDOC naturellement).

Le blé (et triticale) qui a le plus fort pourcentage d'incorporation dans l'ensemble des aliments composés de la Bretagne (35.0%) est aussi le premier contributeur en GES (31%), en ACID (37%), en EUTRO (36%) et en LANDOC (35%). Sa contribution est nettement plus faible que son taux d'incorporation en GESLUC (24%), en CUMULEN (19%) et en TECOT (20%).

Le maïs présente le second taux d'incorporation (15.2%) et a des contributions qui sont toujours inférieures à ce chiffre sauf pour l'acidification (ACID : 20.7%) où il est le second contributeur après le blé.

Part des diverses matières premières dans la durabilité en Bretagne (%) – Moy 2011-2014

BRETAGNE	Tonnage	GES	GESLUC	ACID	EUTRO
Blé + triticale	35,0%	31,2%	24,2%	36,9%	36,2%
Mais	15,2%	14,3%	11,1%	20,7%	14,4%
Orge	6,2%	5,0%	3,8%	6,0%	6,0%
TT soja	14,3%	18,8%	31,5%	12,7%	17,1%
TT colza	6,9%	5,8%	4,5%	5,9%	5,3%
Tt tournesol	4,8%	3,4%	3,6%	2,7%	5,9%
wheatfeed	3,2%	3,7%	2,8%	2,6%	2,1%
Son + remoulage	2,3%	0,4%	0,3%	0,5%	0,4%
drèches	2,2%	3,0%	2,3%	2,0%	2,0%
Pois	1,1%	0,4%	0,4%	0,3%	1,1%
Gr oléagineuses	0,9%	1,1%	1,2%	0,9%	1,8%
Huiles	1,3%	4,0%	5,2%	4,1%	4,0%
Autres	6,5%	9,0%	9,1%	4,8%	3,6%

Avec 14.8%, le tourteau de soja a le troisième taux d'incorporation. Il a une contribution supérieure à ce chiffre pour tous les indicateurs à l'exception de l'acidification (ACID 12.7%). Globalement ces trois matières premières qui ont un taux d'incorporation total de 64.5% ont une contribution majeure pour presque tous les indicateurs : 66.8% pour GESLUC, 64.3% pour GES, 70.3% pour ACID, 67.7% pour EUTRO et seulement 56.5% pour CUMULEN, 57.1% pour TECOT et 63.3% pour LANDOC.

Part des diverses matières premières dans la durabilité en Bretagne (%) – Moy 2011-2014

BRETAGNE	TOTAL	CUMULEN	LANDOC	TECOT
Blé + triticale	35,0%	19,3%	34,6%	20,3%
Mais	15,2%	13,1%	13,1%	7,9%
Orge	6,2%	3,3%	6,5%	3,8%
TT soja	14,3%	24,1%	15,6%	28,9%
TT colza	6,9%	4,1%	5,9%	3,0%
Tt tournesol	4,8%	3,3%	8,9%	2,0%
wheatfeed	3,2%	4,6%	1,9%	1,2%
Son + remoulage	2,3%	0,3%	0,4%	0,3%
drèches	2,2%	3,9%	1,3%	1,0%
Pois	1,1%	0,5%	1,8%	0,5%
Gr oléagineuses	0,9%	1,0%	2,4%	1,3%
Huiles	1,3%	3,1%	4,2%	2,7%
Autres	6,5%	19,4%	3,3%	27,2%

Corrélation entre les indicateurs de développement durable

Au niveau mensuel, les valeurs de tous les indicateurs par kg d'aliments composés changent, soit dans le même sens soit en sens contraire. Il est donc possible de calculer la matrice de corrélation entre ces valeurs. Plus la valeur absolue du coefficient entre deux indicateurs est proche de 1 plus la liaison entre ces deux facteurs est forte. Lorsque le coefficient est positif les deux indicateurs évoluent dans le même sens et au contraire en sens inverse lorsqu'il est négatif.

Matrice de corrélation entre indicateurs (Tous AC)

	ACIDCM	CUMULEN	ENTOT	EUTRO	EUTRODU	EUTROME	EUTROTET	SES	DESCMIL	DESLUC	LAINDOC	TECOT
ACID	0,982	0,288	-0,440	0,048	0,064	-0,170	0,972	0,589	-0,052	-0,052	-0,001	-0,001
ACIDCMIL		0,408	-0,350	0,006	0,181	-0,226	0,913	0,605	0,101	0,101	-0,045	0,129
CUMULEN			0,522	-0,409	0,432	-0,498	0,105	0,188	0,524	0,524	-0,229	0,284
ENTOT				-0,370	0,244	-0,393	-0,568	-0,376	0,521	0,521	-0,338	0,467
EUTRO					0,160	0,744	0,130	0,287	-0,374	-0,374	0,625	-0,190
EUTRODOU						-0,042	-0,087	-0,024	0,373	0,373	0,208	0,567
EUTROME							-0,039	0,370	-0,444	-0,444	0,814	-0,387
EUTROTET								0,584	-0,246	-0,246	0,094	-0,178
SES									-0,065	-0,065	0,270	-0,082
DESCMIL										1,000	-0,490	0,713
DESLUC											-0,490	0,713
LAINDOC												-0,447

En rouge : corrélations négatives > 0,4 en valeur absolue

27

La plupart des coefficients sont positifs ou faiblement négatifs, cependant certains d'entre eux sont significativement négatifs. Il s'agit en particulier des indicateurs caractérisant l'eutrophisation avec l'énergie mais aussi, et surtout, de l'indicateur d'occupation des sols avec les indicateurs d'émissions de GESLUC. Cela s'explique par la faible occupation des sols engendrée par la production de tourteau de soja comparativement à la production d'autres matières premières partiellement substituables.

Détails par espèces

Compte tenu des fortes différences dans les contraintes nutritionnelles, les taux d'incorporation des matières premières dans les différents types d'aliments composés sont très différents et on retrouve ces différences quand on agrège ces aliments composés par grande catégories (Porc, volailles de chair, volailles de ponte, bovins). Il existe une catégorie « autres » qui inclut essentiellement les lapins et ovins pour laquelle les résultats n'ont pas été présentés compte tenu de son faible tonnage.

Indicateurs de Durabilité de l'approvisionnement en matières premières des entreprises bretonnes de nutrition animale (hors process FAB) – MOY ANNUELLE 4 ANS				
/ Tonne AC	PORC	VOL CHAIR	VOL PONTE	BOVINS
GES sans changement sol (kg eqCO2/tonne MB)	478,9	577,1	503,3	528,3
GES avec changement sol (kg eqCO2/tonne MB)	546,0	790,9	637,2	834,8
Acidification (molc H+/tonne MB)	9,7	11,4	10,4	8,5
Eutrophisation (kg eqPO4 3-/tonne MB)	3,7	4,3	3,7	3,9
Utilisation d'énergie non renouvelable (MJ/tonne MB)	4838,1	6144,8	5396,0	7347,3
Occupation des sols (m2/tonne MB)	1399,4	1503,5	1286,2	1487,1
Conso phosphore (kg P/tonne MB)	5,3	9,8	7,8	5,6 ₁

De façon générale les volailles de chair ont les valeurs les plus élevées pour tous les indicateurs à l'exception du GESLUC et de l'utilisation d'énergie non renouvelable (CUMULEN) où ce sont les bovins. Ceci s'explique largement par le taux de protéine élevé de ces rations pour volailles qui tend à imposer une incorporation notable de tourteau de soja. La catégorie « bovins » présente en fait une forte hétérogénéité entre des aliments à relativement bas taux de protéines (type VL18) et des aliments beaucoup plus concentrés nécessitant beaucoup plus de tourteaux.

Au niveau des fluctuations mensuelles des valeurs des indicateurs par tonne d'aliments composés de chaque catégorie animale, on observe des coefficients de variation plus élevés que pour l'ensemble des aliments composés dans la mesure où il y a souvent une certaine compensation entre les fluctuations à la hausse ou à la baisse des différents aliments composés.

FEEDSIM AVENIR
Association pour la promotion de la recherche et de l'analyse économique sur l'élevage et l'agro-industrie du Grand Ouest.

Coefficients de variation des indicateurs de Durabilité de l'approvisionnement en matières premières des entreprises bretonnes de nutrition animale (hors process FAB) – 48 mois

/ Tonne AC	PORC	VOL CHAIR	VOL PONTE	BOVINS
GES sans changement sol (kg eqCO2/tonneMB)	2,7%	2,1%	3,2%	2,3%
GES avec changement sol (kg eqCO2/tonneMB)	4,5%	3,1%	2,9%	8,9%
Acidification (molc H+/tonneMB)	3,7%	3,4%	3,8%	3,1%
Eutrophisation (kg eqPO4 3-/tonneMB)	2,9%	2,0%	4,9%	4,2%
Utilisation d'énergie non renouvelable (MJ/tonne MB)	4,7%	3,5%	5,5%	7,1%
Occupation des sols (m2/tonneMB)	5,5%	3,3%	8,7%	6,5%
Conso phosphore (kg P/tonne MB)	8,5%	5,1%	5,2%	9,6%

De façon générale les chiffres les plus élevés sont observés pour les bovins (GESLUC, CUMULEN, TECOT) en raison notamment des fluctuations des taux d'incorporation du tourteau de soja (concurrence avec colza et tournesol) et de la part des aliments composés de type VL40. Les aliments pour volailles de chair présentent globalement une moindre variabilité en raison de la moindre flexibilité des formules qui contiennent toujours une part importante de maïs et de tourteau de soja en raison des contraintes élevées en protéines et énergie.

Le porc et les volailles de ponte ont certains coefficients élevés, ce qui traduit une plus forte flexibilité des formules.

On observe des corrélations entre les indicateurs de développement durable très différentes d'une espèce à l'autre.

Concernant le porc, les corrélations sont très majoritairement positives ; A noter un antagonisme des évolutions de l'énergie avec l'acidification et l'eutrophisation terrestre.

FEEDSIM AVENIR
Association pour la promotion de la recherche et de l'analyse économique sur l'élevage et l'agro-industrie du Grand Ouest.

Matrice de corrélation entre indicateurs (AC porcins)

TOT_PORC	ACIDCM	CUMULEN	ENTDT	EUTRO	EUTRODOU	EUTROME	EUTROTET	SES	DESCML	DESLLC	LANDOC	TECOT
ACID	0,992	0,222	-0,729	-0,263	0,145	0,168	0,990	0,807	0,101	0,101	0,161	0,019
ACIDCM		0,296	-0,674	-0,279	0,215	0,199	0,966	0,851	0,204	0,204	0,175	0,108
CUMULEN			0,290	-0,024	0,674	-0,093	0,112	0,418	0,520	0,520	-0,003	0,469
ENTDT				0,160	0,203	0,002	-0,783	-0,391	0,154	0,154	0,080	0,339
EUTRO					-0,192	-0,274	-0,247	-0,211	-0,028	-0,028	-0,357	0,138
EUTRODOU						0,301	0,063	0,295	0,282	0,282	0,418	0,333
EUTROME							0,168	0,474	0,080	0,080	0,889	-0,117
EUTROTET								0,756	-0,018	-0,018	0,170	-0,090
SES									0,365	0,365	0,339	0,226
DESCML										1,000	-0,104	0,585
DESLLC											-0,103	0,585
LANDOC												-0,309

En rouge : corrélations négatives > 0,4 en valeur absolue

Matrice de corrélation entre indicateurs (AC bovins)

TOT_BOVINS	ACIDCM	CUMULEN	ENTDT	EUTRO	EUTRODOU	EUTROME	EUTROTET	SES	DESCML	DESLUC	LANDOC	RECOT
ACID	0,935	0,539	0,246	-0,248	-0,561	-0,159	0,955	0,594	0,008	0,008	-0,173	-0,672
ACIDCMIL		0,642	0,498	-0,325	-0,364	0,024	0,791	0,661	0,279	0,279	-0,060	-0,445
CUMULEN			0,790	-0,469	-0,329	-0,099	0,395	0,455	0,208	0,208	0,003	-0,405
ENTDT				-0,261	-0,056	0,044	0,006	0,247	0,729	0,729	-0,097	0,006
EUTRO					0,250	0,005	-0,185	-0,417	0,146	0,146	-0,124	0,025
EUTRODOU						0,614	-0,669	-0,095	0,207	0,207	0,653	0,751
EUTROTET							-0,268	0,181	0,290	0,290	0,814	0,304
EUTROTET								0,504	-0,220	-0,220	-0,231	-0,795
SES									-0,038	-0,038	0,150	-0,102
DESCML										1,000	-0,070	0,251
DESLUC											-0,070	0,251
LANDOC												0,202

En rouge : corrélations négatives > 0,4 en valeur absolue

En bovins, ponte et volailles de chair, il faut mettre en avant les corrélations négatives, pas toujours statistiquement significatives néanmoins, entre l'occupation des sols et de nombreux autres indicateurs dont l'acidification et l'énergie. Notons que l'acidification, l'eutrophisation, l'occupation des sols et le phosphore ont le plus souvent des corrélations négatives avec plusieurs indicateurs dont l'eutrophisation marine.

Matrice de corrélation entre indicateurs (AC Vol chair)

TOT_BOVINS	ACIDCM	CUMULEN	ENTDT	EUTRO	EUTRODOU	EUTROME	EUTROTET	SES	DESCML	DESLUC	LANDOC	RECOT
ACID	0,994	0,358	0,244	-0,412	-0,174	-0,127	0,988	0,793	0,417	0,417	-0,343	0,365
ACIDCMIL		0,441	0,345	-0,431	-0,106	-0,210	0,965	0,770	0,495	0,495	-0,430	0,440
CUMULEN			0,868	-0,052	0,332	-0,728	0,232	0,242	0,502	0,502	-0,824	0,465
ENTDT				-0,299	0,666	-0,719	0,094	-0,033	0,809	0,809	-0,788	0,784
EUTRO					-0,276	-0,048	-0,384	-0,186	-0,621	-0,621	0,207	-0,529
EUTRODOU						-0,280	-0,277	-0,559	0,601	0,601	-0,102	0,767
EUTROTET							-0,005	0,131	-0,384	-0,384	0,738	-0,417
EUTROTET								0,820	0,305	0,305	-0,226	0,251
SES									0,108	0,108	-0,324	-0,048
DESCML										1,000	-0,619	0,913
DESLUC											-0,619	0,913
LANDOC												-0,432

En rouge : corrélations négatives > 0,4 en valeur absolue

Matrice de corrélation entre indicateurs (AC vol ponte)

TOT SOVINS	ACIDCM	CUMULEN	ENTDT	EUTRO	EUTRODOU	EUTROME	EUTROTER	GES	GESCM	GESLUC	LANDOC	TECOT
ACID	0,994	0,875	0,787	-0,131	-0,399	-0,379	0,988	0,774	0,646	0,646	-0,624	0,261
ACIDCM		0,913	0,848	-0,139	-0,460	-0,469	0,965	0,780	0,700	0,700	-0,704	0,279
CUMULEN			0,909	-0,208	-0,698	-0,636	0,809	0,811	0,639	0,639	-0,870	0,083
ENTDT				-0,094	-0,540	-0,807	0,686	0,580	0,854	0,854	-0,912	0,429
EUTRO					0,289	-0,081	-0,133	-0,379	-0,075	-0,075	0,162	0,213
EUTRODOU						0,500	-0,330	-0,744	-0,289	-0,289	0,805	0,429
EUTROME							-0,239	-0,158	-0,597	-0,597	0,832	-0,403
EUTROTER								0,774	0,559	0,559	-0,510	0,205
GES									0,432	0,432	-0,637	-0,277
GESCM										1,000	-0,733	0,652
GESLUC											-0,733	0,652
LANDOC												-0,153

En rouge : corrélations négatives > 0,4 en valeur absolue

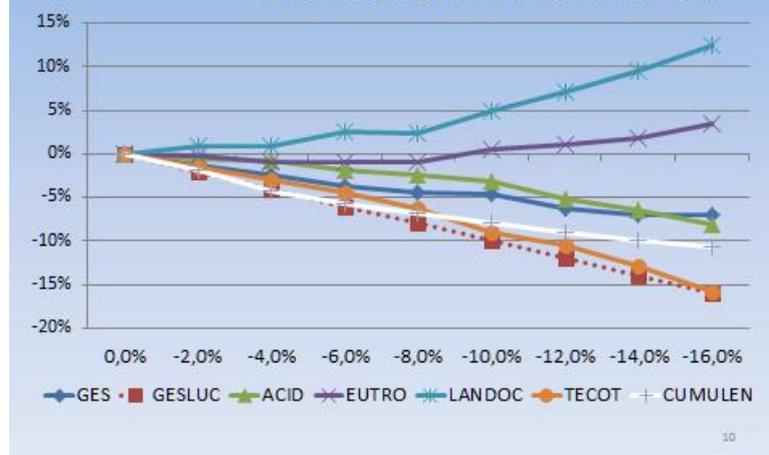
Étape 2 : Réduction des impacts environnementaux un à un sous contrainte de prix

- Réduction du changement climatique

Les différences de facteurs d'émission entre GES et GESLUC sont principalement importantes pour le tourteau de soja (et l'huile de palme). On peut donc s'attendre à ce que les principales différences par rapport aux résultats précédents soient fortement liées à ce produit et, par espèce animale, aux formules qui contiennent le plus de ce produit.

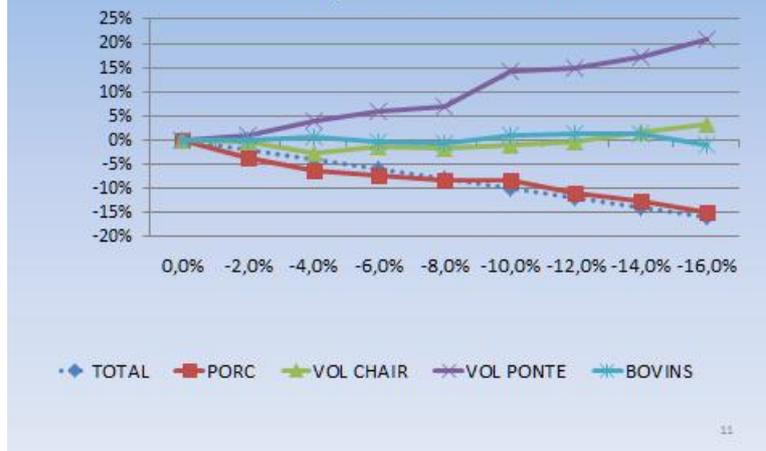
Au niveau technique on peut réduire de 16% les GESLUC (contre 14% pour les GES) mais il convient d'examiner le coût correspondant et de noter que au départ on a une émission de l'ensemble des aliments composés plus importante en GESLUC qu'en GES (particulièrement pour les volailles).

Baisse GESLUC : Evolution des indicateurs de durabilité



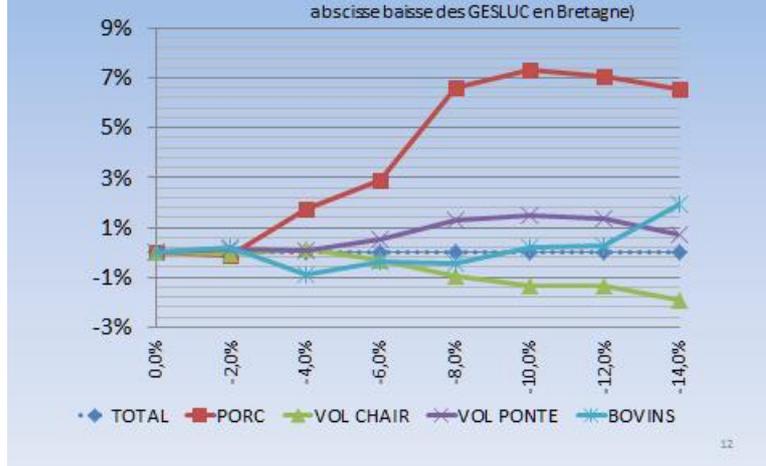
Avec la réduction globale des GESLUC de 16%, on a une réduction des GES de seulement 7% (effet tourteau de soja) et des baisses des indicateurs TECOT (Phosphore) de 16%, CUMULEN de 11% et ACID de 8%. En sens inverse on a des hausses significatives en LANDOC (+12%) et plus modérée en EUTRO (+3%).

Baisse GESLUC : Incidences par espèce animale

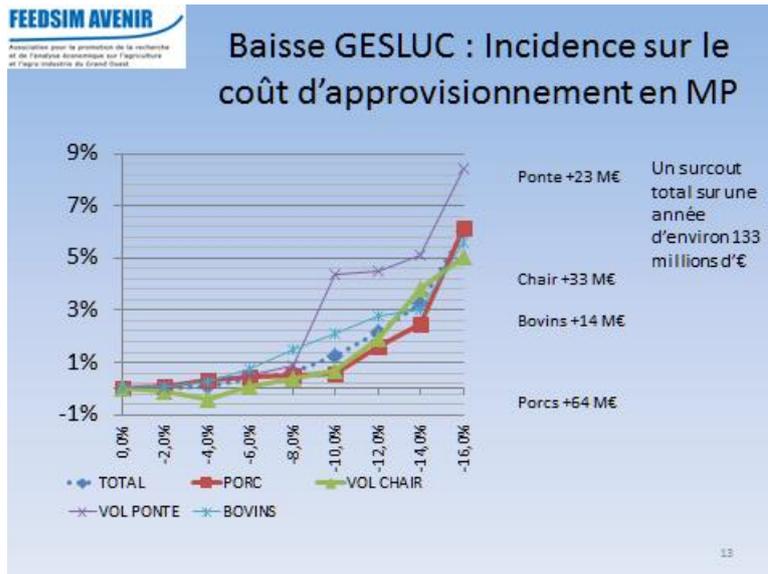


Comme pour les GES la catégorie animale qui enregistre la plus forte baisse est le porc (-15% pour une baisse totale de 16%) suivi du bovin -1%. Nous n'avons pas représenté la forte baisse de la catégorie « autres aliments composés ». En sens inverse les émissions des volailles de chair (+3%) et surtout de ponte (+21%) progressent fortement.

Baisse GESLUC : Implications sur les GESLUC en Pays de la Loire (en abscisse baisse des GESLUC en Bretagne)



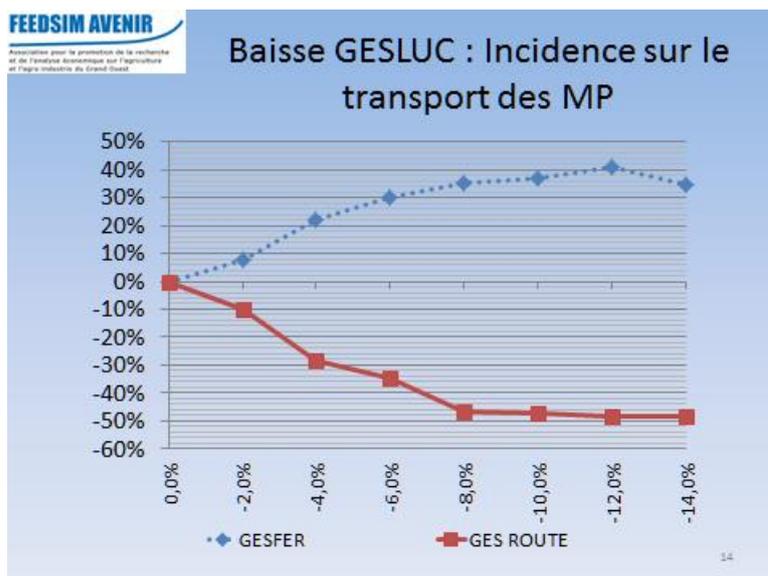
Les implications de la baisse des GESLUC en Bretagne sont très importantes en pays de Loire en ce qui concerne les différentes catégories animales. Avec un total nul, on a une forte progression de GESLUC en porc (+7%) et moindre en bovins (+1%), hausses compensées par les baisses en volailles de chair (-2%). Ces mécanismes s'expliquent par la modification des disponibilités de certaines matières premières pour les pays de Loire induites par les changements de consommation en Bretagne (on peut penser en particulier aux protéagineux pour le porc et aux coproduits céréaliers).



Toutes les catégories d'aliments composés sont nettement affectées par la contrainte de réduction du GESLUC. Globalement la hausse de coût matière pour l'ensemble des aliments composés est de 6% et va pour les différentes catégories d'un minimum de 5% pour la volaille de chair à un maximum de 8% pour la volaille de ponte en passant par 6% pour le porc.

En moyenne sur une année cette réduction globale de 16% entrainerait un surcoût pour l'ensemble de la filière, en moyenne annuelle de l'ordre de 133 M€ dont près de la moitié en porcs (+64 M€) et 33 M€ en volailles de chair, le reste se répartissant entre volaille de ponte (particulièrement impactée) et bovins.

Comme précédemment on peut mettre en regard pour chaque catégorie animale les baisses de GESLUC et les hausses de coûts : porcins : -15% et +6.2%, bovins : -1% et +5.6%, volailles de chair +3% et +5.0% et volailles de ponte +21% et +8.4%. Ces chiffres montrent l'importance des « phénomènes croisés » (ie. Concurrence entre espèces animales). On peut avoir simultanément hausse d'émission et hausse de coût par pénurie de certaines matières premières pour une espèce donnée.

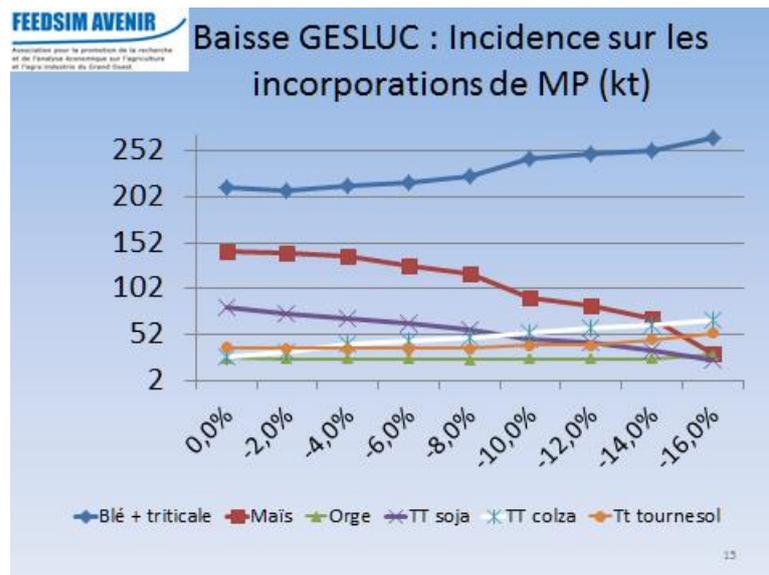


Comme dans le cas précédent, même si le transport ne représente qu'une part minime des émissions de CO₂ par rapport aux matières premières, on observe de nets ajustements au niveau du transport avec une forte hausse du trafic ferroviaire (+35%) et une très forte baisse du trafic

routier de moitié. Ce dernier chiffre s'explique par moins de tonnage transporté et surtout moins de kilomètres parcourus, l'approvisionnement ayant tendance à se faire plus « local ».

Toutes les modifications précédentes sont dues aux changements induits de consommation des diverses matières premières à la fois au niveau global et au niveau des différentes catégories animales.

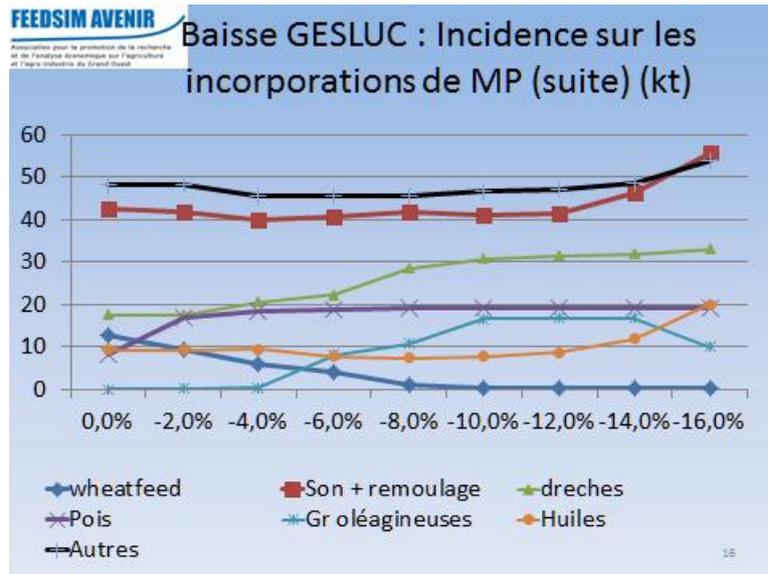
La première observation est la chute très forte de consommation de tourteau de soja dont le tonnage est plus que divisé par deux (il doit en même temps se redistribuer entre espèces animales, certaines pouvant plus « facilement » se passer de ce produit en raison de leur moindre contrainte protéique. Ce produit est principalement remplacé par des tourteaux de colza et de tournesol (et aussi par certains coproduits de céréales type drèches).



La seconde remarque est l'effondrement de la consommation de maïs (division par trois) qui est majoritairement remplacé par du blé maïs aussi certains coproduits. On voit qu'à partir d'une réduction de 12% il est fortement fait appel dans les formules à du son et du remoulage. Pour satisfaire les besoins énergétiques des rations ces incorporations croissantes s'accompagnent de plus d'huiles végétales et de graines oléagineuses.

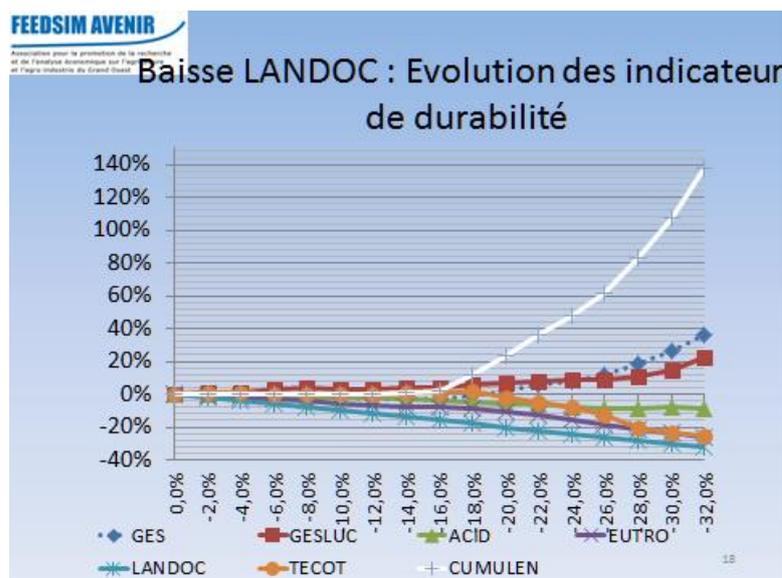
Parmi les autres coproduits céréaliers les drèches progressent fortement et se substituent largement au wheatfeed en raison des facteurs d'émission retenus pour ce dernier produit.

Enfin en ce qui concerne le pois protéagineux, on constate que c'est le premier produit auquel les formulateurs font appel pour réduire le GESLUC. Dès la réduction de 2% son tonnage double, mais compte tenu des faibles disponibilités ne peut continuer à augmenter par la suite.



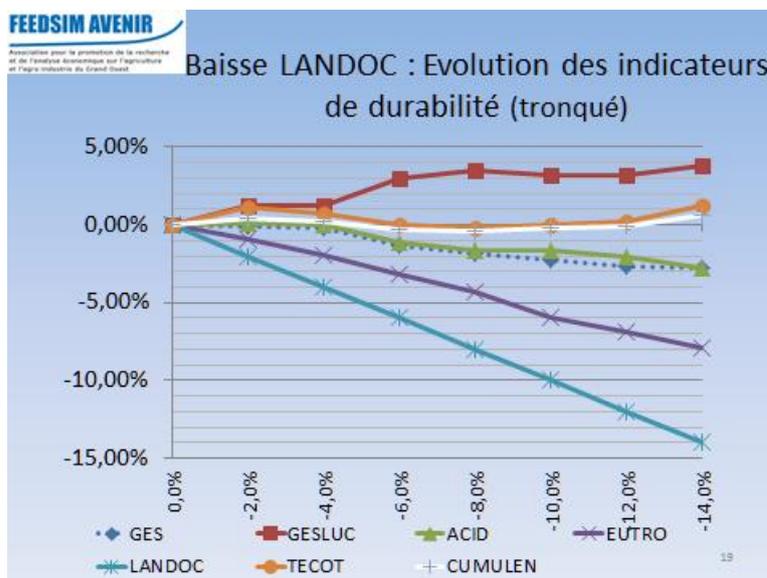
- **Réduction de l'impact occupation des sols**

L'occupation des sols (LANDOC) constitue avec les émissions (GES ou GESLUC), la production de phosphore (TECOT), la consommation d'énergie non renouvelable (CUMULEN) l'un des quatre indicateurs globaux considérés comme « principaux » et utilisés dans l'approche multicritère. Sur un plan purement technique on peut réduire très fortement cet indicateur (32%). A ce niveau deux autres indicateurs sont sensiblement réduits (EUTRO : -26% et TECOT : -25%), mais certains autres sont très fortement augmentés : CUMULEN +140%, GES +36% et GESLUC +22%. En terme d'évolution on observe une nette rupture au niveau de -16% en LANDOC avec en particulier une forte accélération de la hausse de CUMULEN qui s'explique (cf. infra), à partir de ce niveau, par une incorporation massive de méthionine industrielle, qui naturellement n'occupe aucune surface agricole mais consomme beaucoup d'énergie pour sa production.

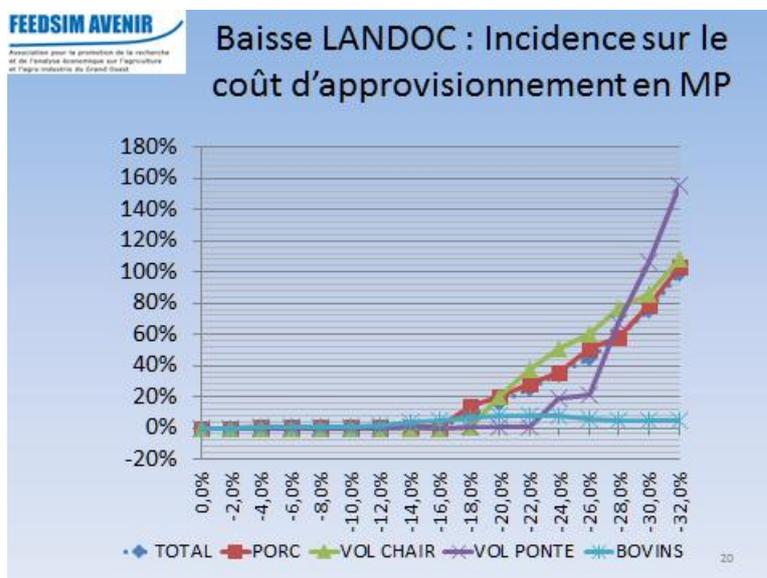


Si on limite l'analyse à la baisse de 14% en LANDOC, les variations des divers indicateurs sont beaucoup plus limitées. On a une hausse de GESLUC (+3.8%), de TECOT (+1.2%) et de CUMULEN (+0.6%). GES, ACID et EUTRO s'inscrivent en baisse.

Entre 0 et 14% de baisse pour LANDOC, on a au niveau des matières premières les mécanismes « normaux » de substitution avec une préférence donnée aux matières premières ayant des faibles facteurs LANDOC (forts rendements agricoles pour les produits agricoles et tourteaux, faible contribution à l'utilisation des terres pour les coproduits) et une faible attractivité de la méthionine qui reste à des niveaux « normaux » compte tenu de son prix élevé. Il est à noter que dans le modèle FEEDSIM il n'y a pas de contraintes maximum sur les acides aminés dans la mesure où dans le fonctionnement normal du modèle c'est le prix qui limite l'utilisation des produits industriels à leurs niveaux nutritionnels requis.

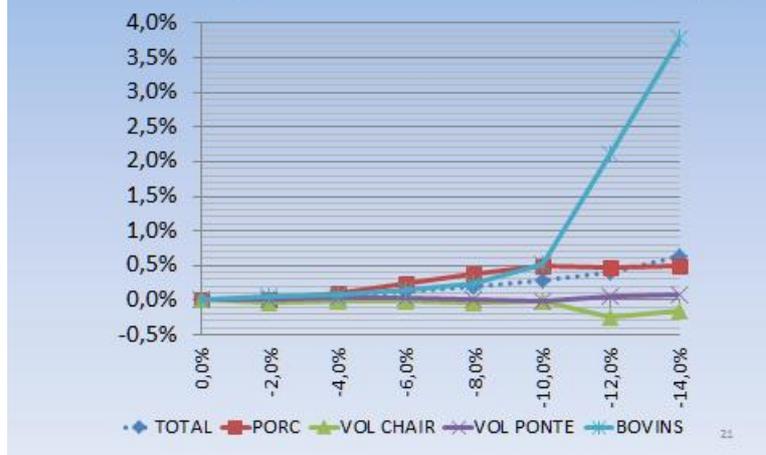


Le graphique montre clairement le caractère irréaliste sur un plan économique des réductions de LANDOC supérieures à 14%. Avec plus que des doubléments de prix des aliments porcs ainsi que volailles.



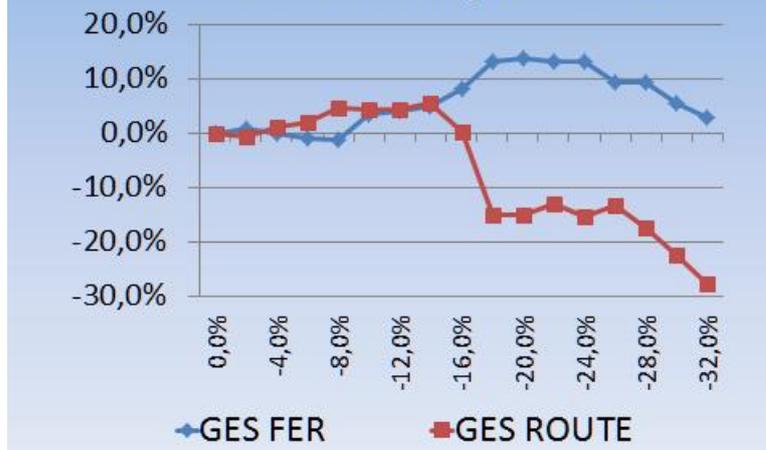
Au niveau de -14% on a une nette augmentation du prix des aliments bovins alors que ceux pour les autres espèces évoluent peu.

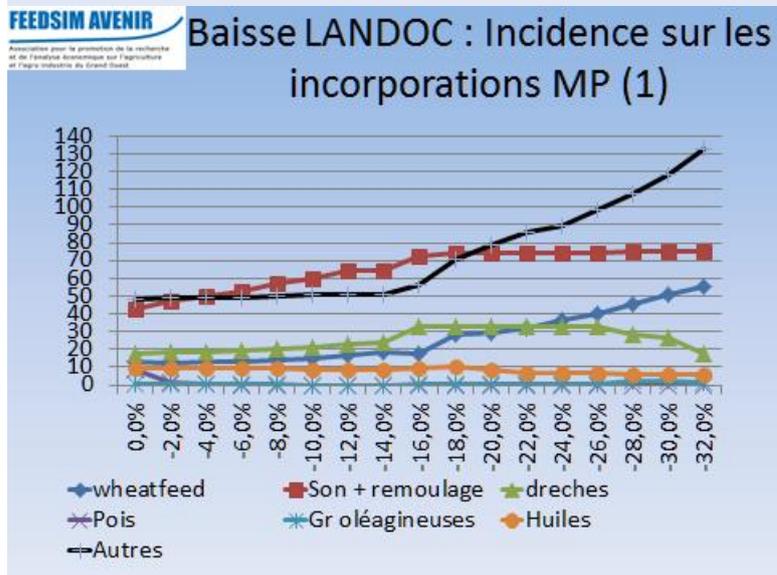
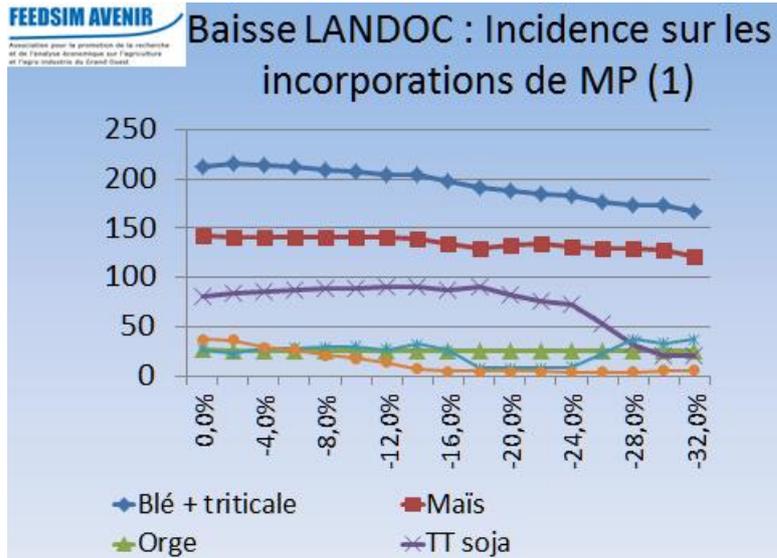
Baisse LANDOC : Incidence sur le coût d'approvisionnement en MP (tronqué)



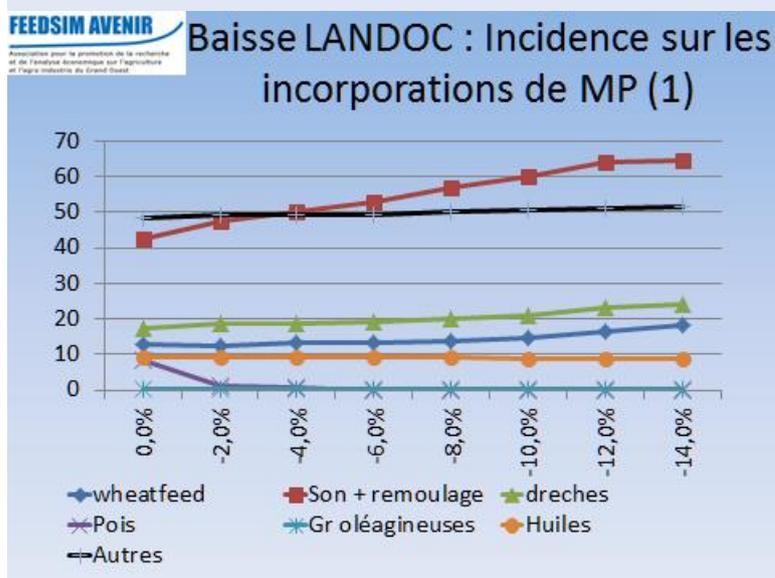
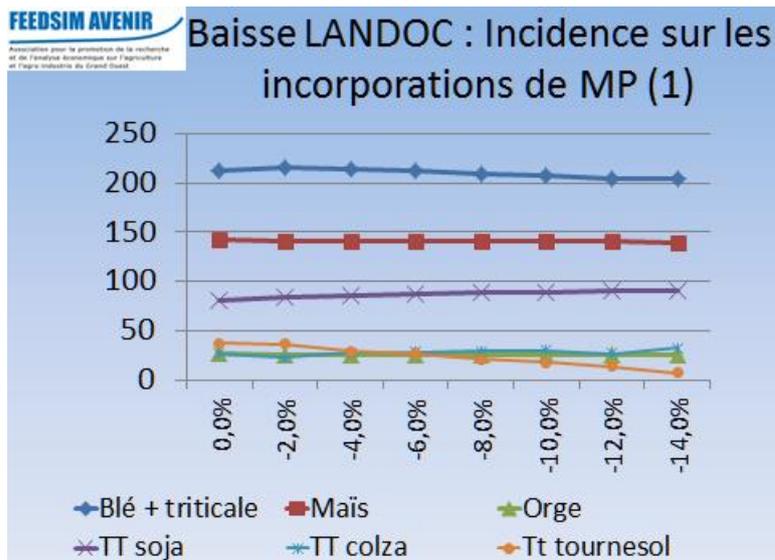
Jusqu'à -14% de LANDOC, nous notons de faibles effets sur le transport, mais ensuite une baisse du transport routier et une augmentation du transport ferroviaire.

Baisse LANDOC : Incidence sur le transport des MP





Au niveau des utilisations de matières premières, sur un plan théorique on aurait une baisse du blé et du tourteau de soja, et surtout une progression de la catégorie « autres » (qui inclut en particulier les acides aminés) ainsi que du wheatfeed et des sons et issues.

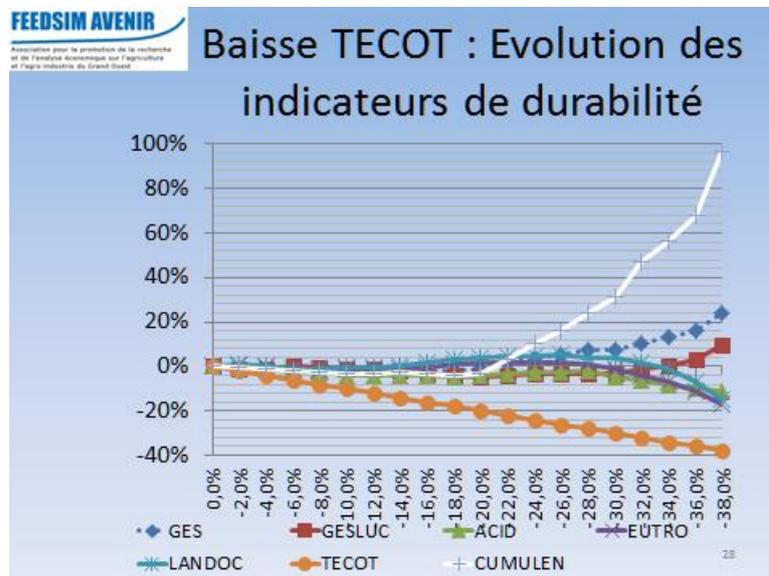


Sur ces graphiques ci-dessus détaillant l'évolution des incorporations de matières premières dans la partie « réaliste » de la réduction de l'indicateur LANDOC, il est observée une forte augmentation des incorporations de sons et remoulage, une réduction de l'incorporation de tourteau de tournesol au profit du tourteau de soja.

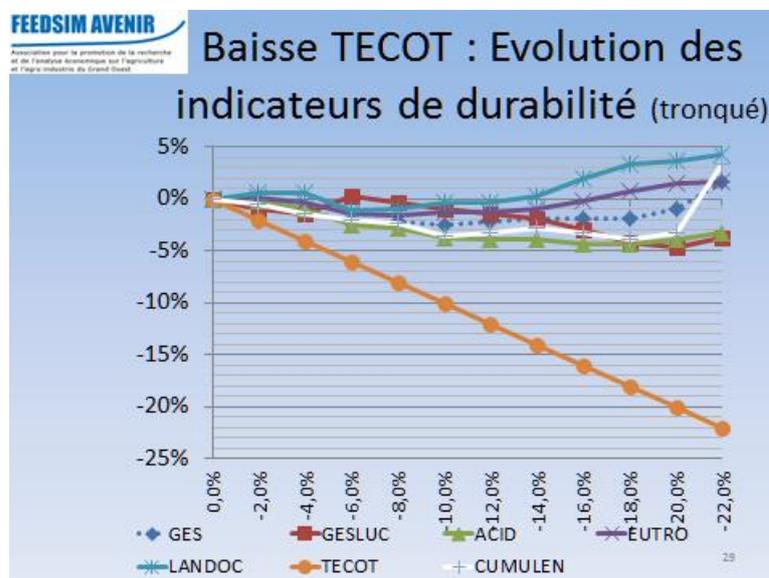
Sur ce dernier graphique, on observe également la disparition du pois en raison de son faible rendement.

- **Réduction de l'impact consommation de phosphore**

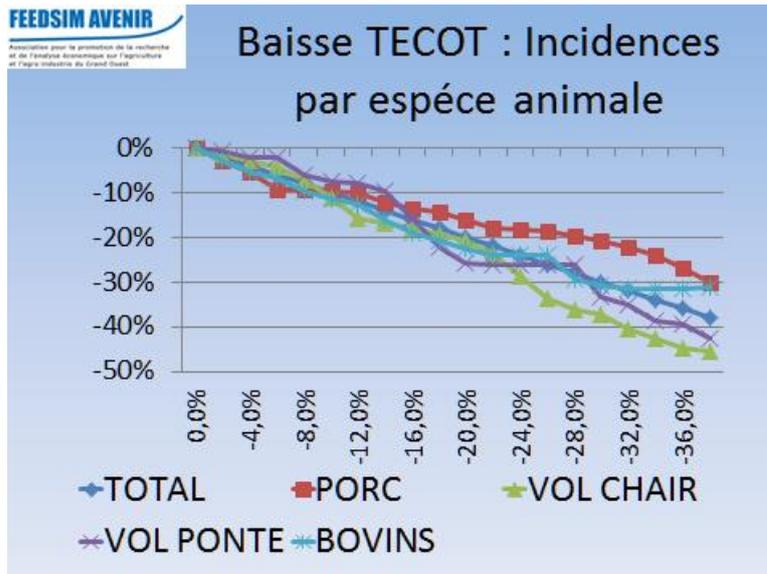
Au niveau du phosphore (TECOT) sur un plan théorique, on a une réduction maximale calculée de 38% qui s'accompagne d'une baisse pour LANDOC (-15%), EUTRO (-17%) et -11% pour ACID. La contrepartie à ces baisses est une explosion de CUMULEN (+96%) et de très fortes hausses de GESLUC (+10%) et surtout de GES (+24%).



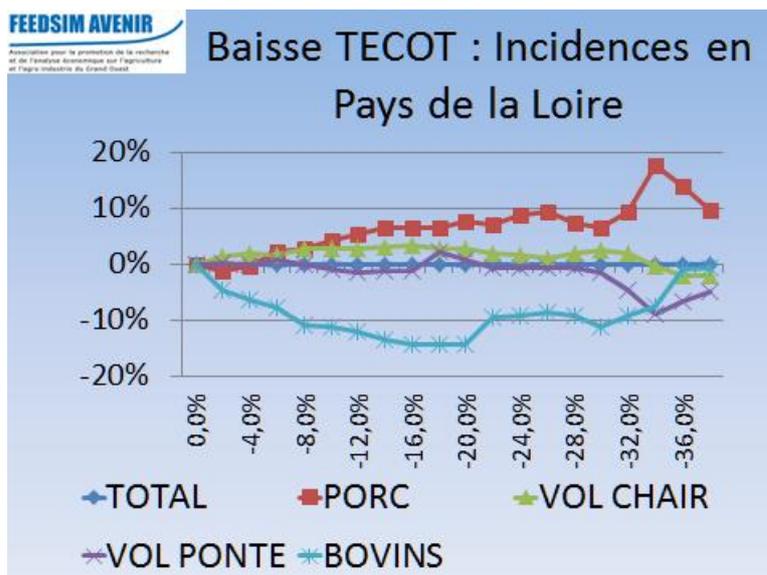
Dans un domaine de réduction de TECOT plus réaliste (limitée à 22%) on a des variations des autres indicateurs qui sont comprises entre +5% et -5%. En ce qui concerne CUMULEN on observe un retournement de tendance, orienté à la baisse jusque-là, il amorce alors son explosion.



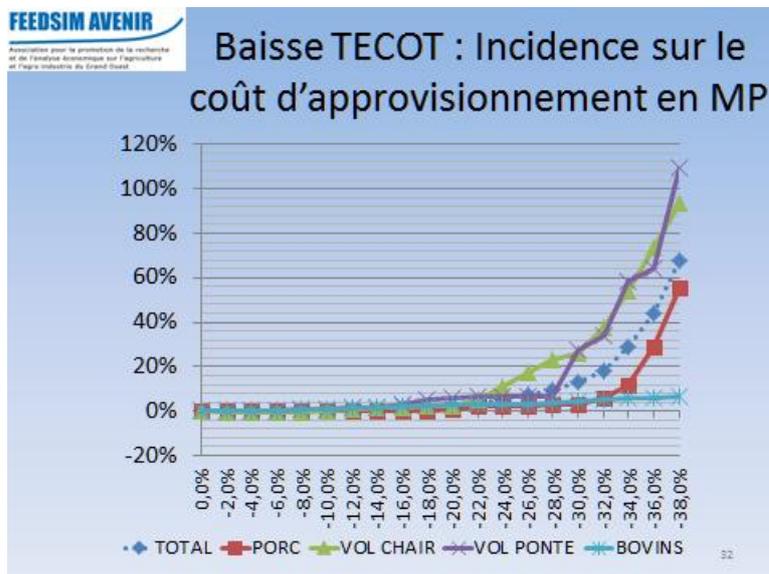
L'analyse par espèce révèle une réduction facilitée au départ sur le porc pour répondre à l'exigence de réduction à l'échelle régionale ; Toutefois, dans un deuxième temps, pour réduire la valeur de TECOT au-delà de - 16 %, les réductions sur les aliments volailles deviennent indispensables.



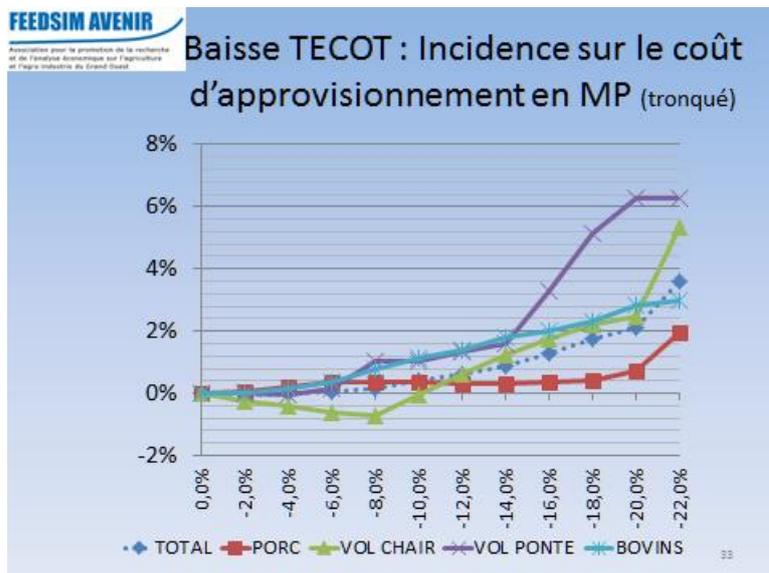
Ces réductions en Bretagne induisent des augmentations de la valeur TECOT en porc et volailles dans la région des Pays de la Loire, compte tenu des disponibilités limitées de certaines matières premières ;

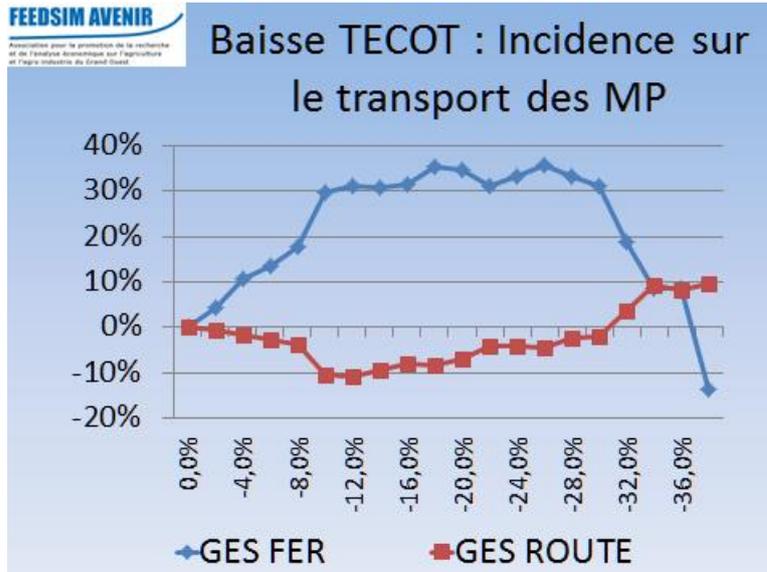


Comme on pouvait s'y attendre au niveau de -38% on observe une explosion des prix pour porcs et volailles avec toutefois une hausse plus limitée pour les bovins.

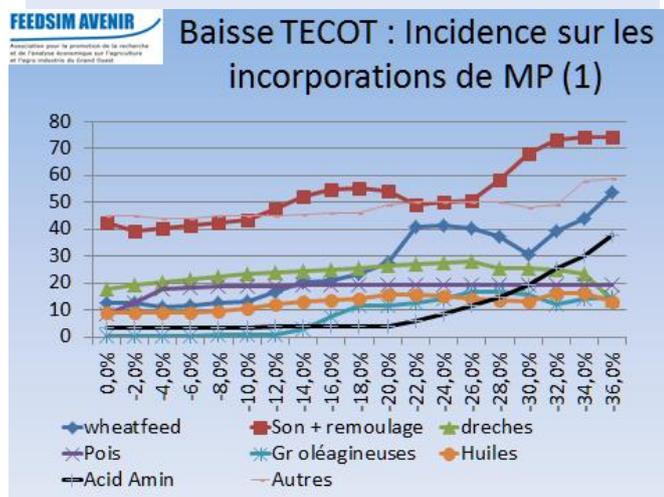
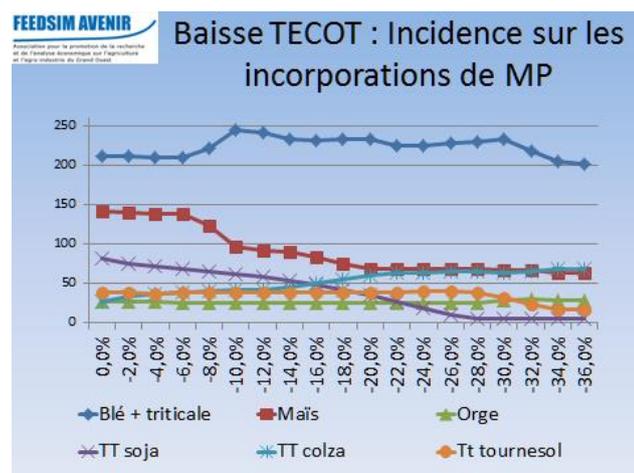


A -22% en TECOT la hausse de prix globale de 3.6% est imputable principalement aux volailles de ponte (+6.3%), aux volailles de chair (+5.4%) et aux bovins (+3.0%) ; jusqu'à une réduction de -5 % environ, la hausse des coûts reste modérée.

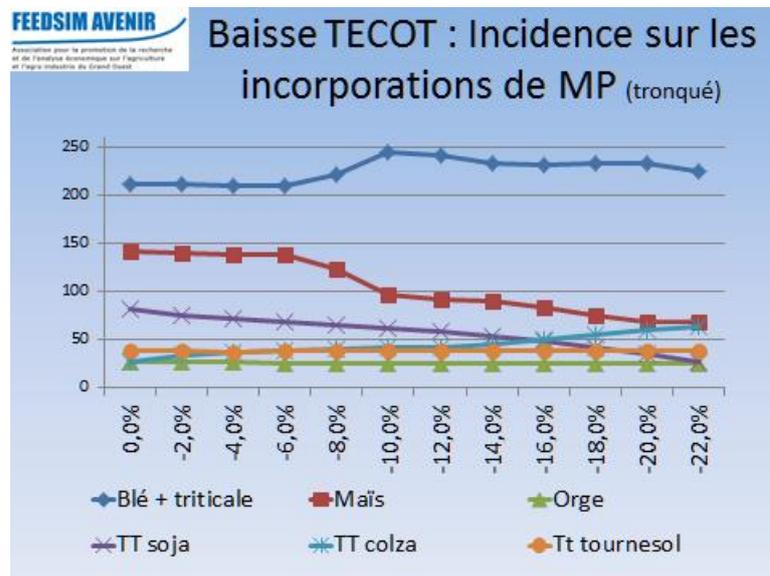




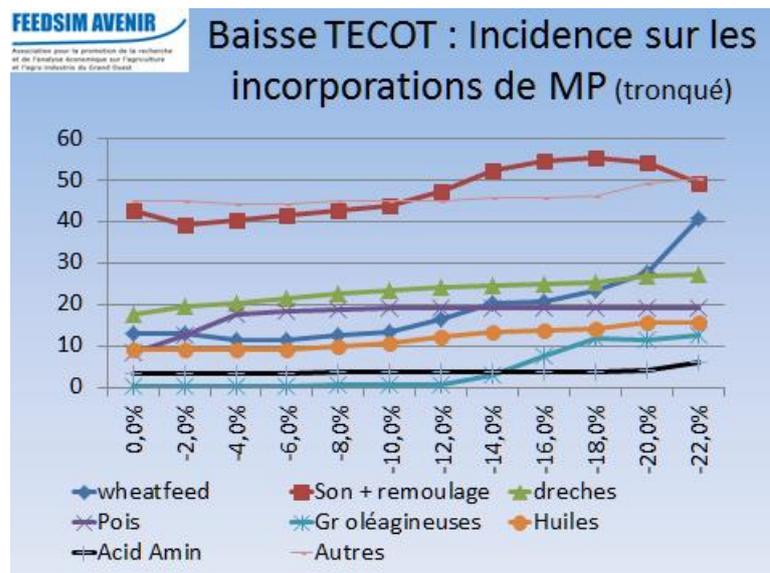
Ces réductions de TECOT, induisent un recours plus marqué au transport ferroviaire pour rechercher des matières premières intéressantes mais plus lointaines, tourteau de colza par exemple. En ce qui concerne les matières premières, on a une forte baisse du maïs et du tourteau de soja, ce dernier étant partiellement compensé par une progression du tourteau de colza et une progression marquée des coproduits céréaliers.



Les conclusions sont légèrement différentes dans la première phase de baisse de TECOT, on a une relative stabilité du blé et du maïs, mais très rapidement le tourteau de soja baisse au profit du tourteau de colza.

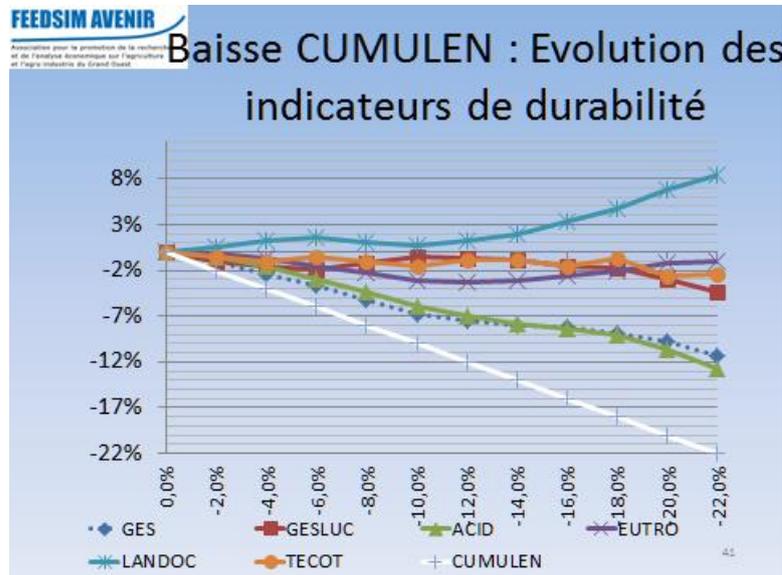


Les incorporations de sons et remoulages progressent ainsi que celles de wheatfeed, accompagnées d'un besoin croissant en huiles.

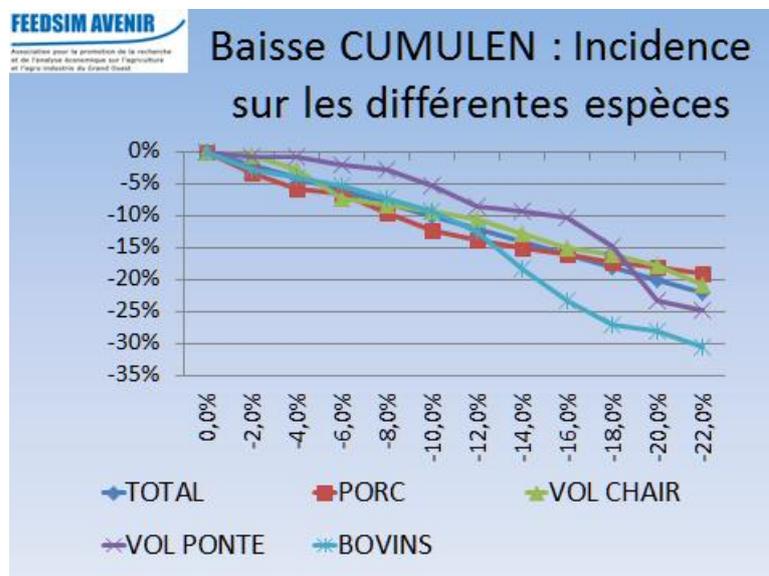


- **Réduction de l'impact consommation d'énergie**

Au niveau de l'énergie non renouvelable on peut réduire, sur un plan technique, mais non économique, d'un maximum de 22% cet indicateur. Les impacts à ce niveau sont une augmentation sensible de LANDOC (+8%), mais tous les autres indicateurs pris en compte diminuent : ACID (-13%), GES (-11%), GESLUC (-4%) et TECOT (-2%).

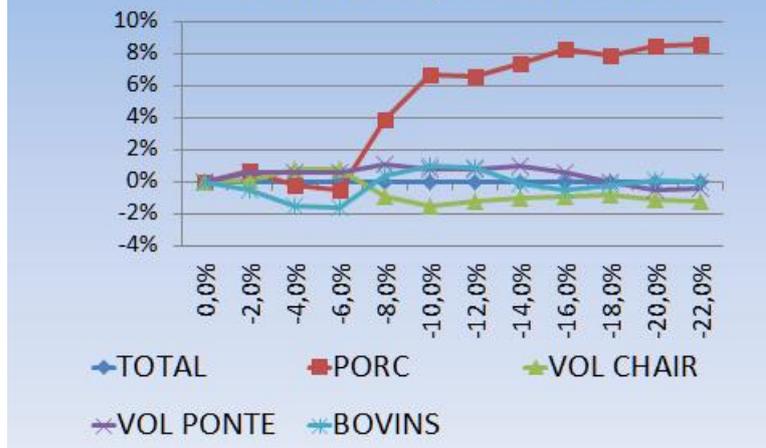


Au niveau des catégories animales, c'est l'aliment bovin qui baisse le plus (-31%) et l'aliment porc le moins (-19%), les aliments volailles baissant à peu près comme le total.



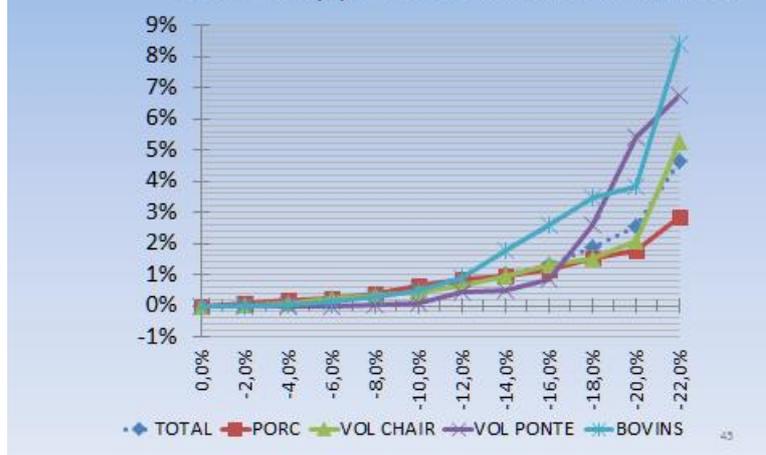
L'impact de la baisse bretonne en CUMULEN au niveau des Pays de Loire concerne surtout l'aliment porc dont l'indicateur augmente de 9% tandis que les indicateurs sont proches de zéro pour les aliments bovins et volailles de ponte et même légèrement négatifs pour la volaille de chair (-1.1%). Cette différence s'explique principalement par le fait que le pois, initialement utilisé dans les aliments porcs des Pays de Loire se trouve après réduction capté par les aliments bretons.

Baisse CUMULEN : Incidences sur les Pays de la Loire

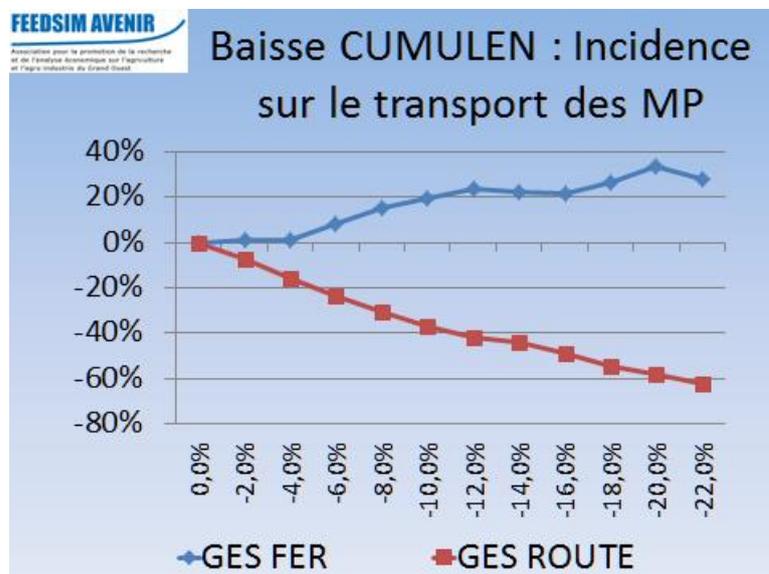


La réduction de CUMULEN se traduit rapidement (dès le taux de 14%) par une sensible augmentation du coût des aliments. A -22%, cette hausse serait de 4.7% pour l'ensemble des aliments, de 2.9% pour le porc, de 5.3 et 6.8% pour les volailles de chair et de ponte et attendrait même 8.4% pour les bovins. Jusqu'à -12% de réduction toutes les hausses de prix sont inférieures à 1% et s'accroissent par la suite.

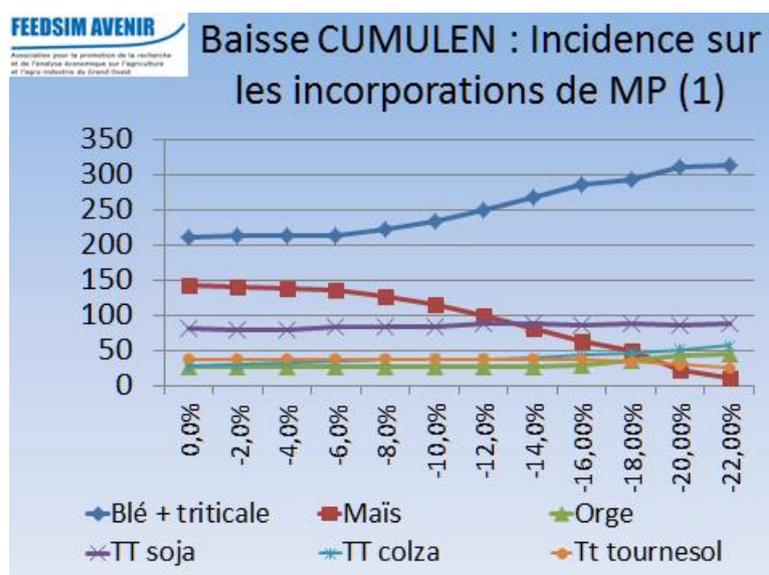
Baisse CUMULEN : Incidence sur le coût d'approvisionnement en MP



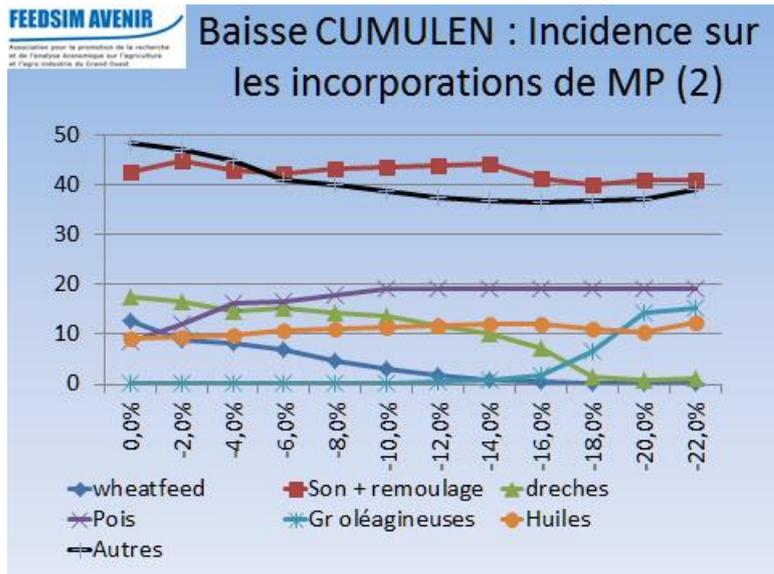
Comme pour les indicateurs précédents, la réduction de CUMULEN s'accompagne d'une diminution de 63% des émissions de GES pour la route (c'est-à-dire une diminution des tonnes*kilomètres de matières premières transportées par ce canal) et une augmentation de 28% des émissions du fer. Cela signifie qu'en première lieu on privilégie les matières premières locales et que dans un second temps, on substitue (quand c'est possible) la route par le fer pour les plus longues distances.



Au niveau des incorporations de matières premières, le phénomène principal est comme précédemment une presque disparition du maïs (-132 000 t soit -93%) qui est essentiellement remplacé par du blé (+102 000 t soit +50%) et à un plus faible degré par de l'orge (+18 000 t soit +46%). En ce qui concerne les tourteaux l'impact est faible sur le soja (+7 000 t soit +9%) qui progresse légèrement alors que le colza voit son tonnage plus que doubler et que le tournesol recule légèrement.

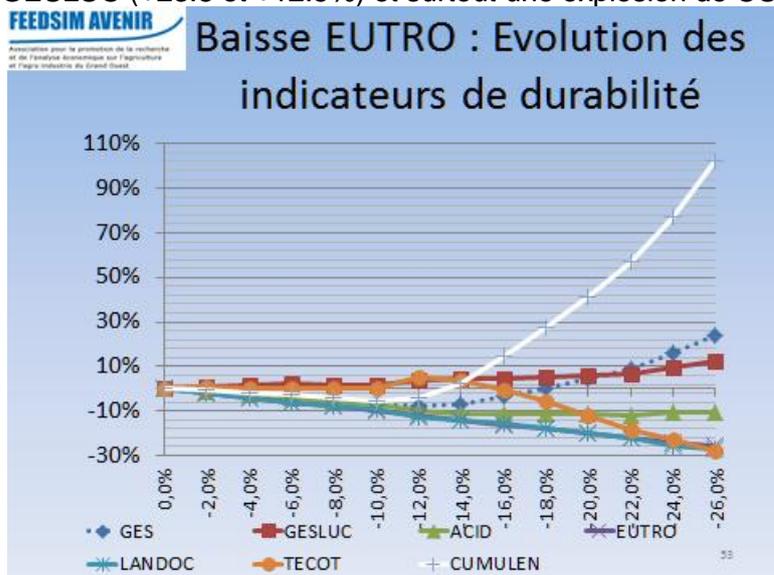


Au niveau des autres matières premières, on observe une quasi disparition du wheatfeed et des drêches, une stabilité des issues de céréales (son et remoulage) et plus qu'un doublement du pois qui atteint rapidement ses limites de disponibilité. Pour compenser l'écart de valeur énergétique entre le maïs et le blé, on a par ailleurs une forte progression des huiles végétales et surtout des graines oléagineuses.



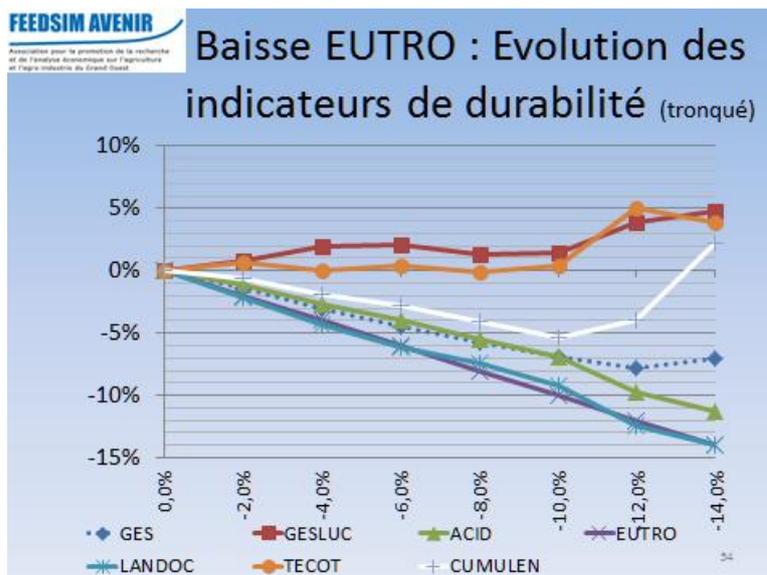
- Réduction de l'impact eutrophisation

On peut théoriquement réduire l'eutrophisation d'un maximum de 26%, mais au prix d'une hausse considérable de prix. A ce niveau de réduction on aurait une baisse de 27.5% de TECOT, de 27.2% de LANDOC et de 10.3% de ACID, mais en contrepartie, sans parler des coûts, on aurait une hausse de GES et GESLUC (+23.8 et +12.5%) et surtout une explosion de CUMULEN (+102.5%).

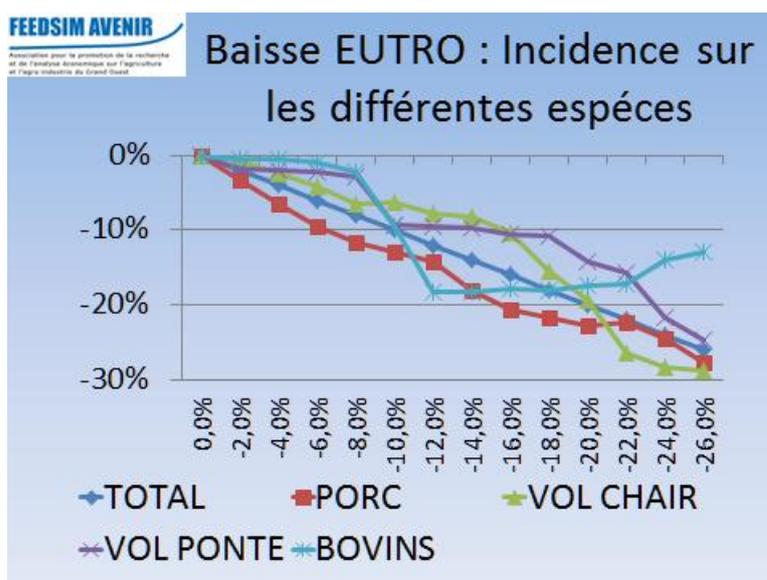


Dans une zone de baisse plus raisonnable de EUTRO (jusqu'à -14%), on observe alors des baisses pour ACID (-11.3%) et pour EUTRO et LANDOC (-14.0% chacun). En contrepartie CUMULEN progresse de 2.3% et TECOT de 3.9%. Au niveau des émissions de CO2, les évolutions sont a priori paradoxales puisque GESLUC augmente de 4.8% tandis que GES diminue de 7.1%. De la même façon la courbe d'évolution de CUMULEN est surprenante puisqu'après une première phase de baisse (jusqu'à une réduction d'EUTRO de 10%) l'indicateur se met ensuite à fortement augmenter.

Ces constatations s'expliquent naturellement par les évolutions d'incorporation des matières premières.

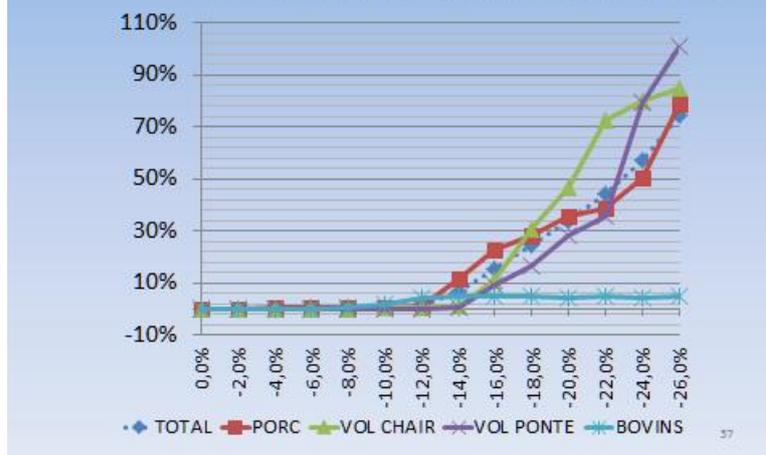


Au niveau théorique de réduction de 26%, c'est l'aliment volailles de chair (-28.8%) qui voit son indicateur diminuer le plus, suivi du porc (-27.8%) et des volailles de ponte (-24.8%). Pour les bovins la baisse est seulement de 13.0%.



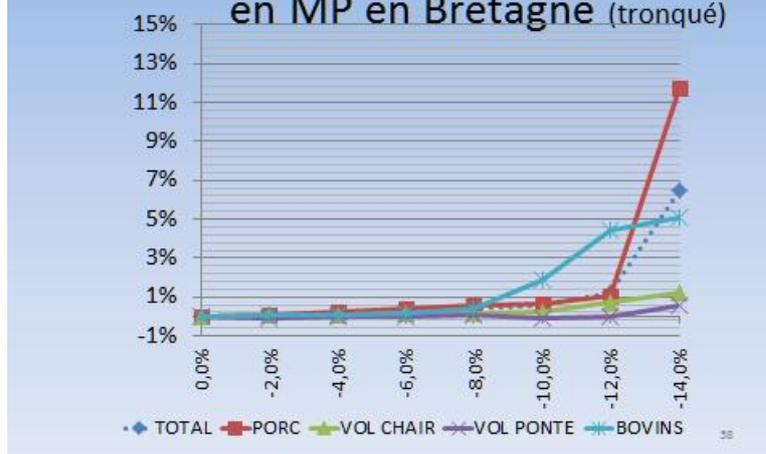
La réduction théorique maximum de EUTRO (-26%) entraîne des hausses de prix considérables : 74% pour l'ensemble des aliments, 101% pour les volailles de ponte, 85% pour les volailles de chair et 79% pour le porc. Par contre la hausse est relativement plus « limitée » pour les bovins (5%). On doit donc se limiter à l'analyse de réductions plus modestes (jusqu'à -14%).

Baisse EUTRO : Incidence sur le coût d'approvisionnement en MP

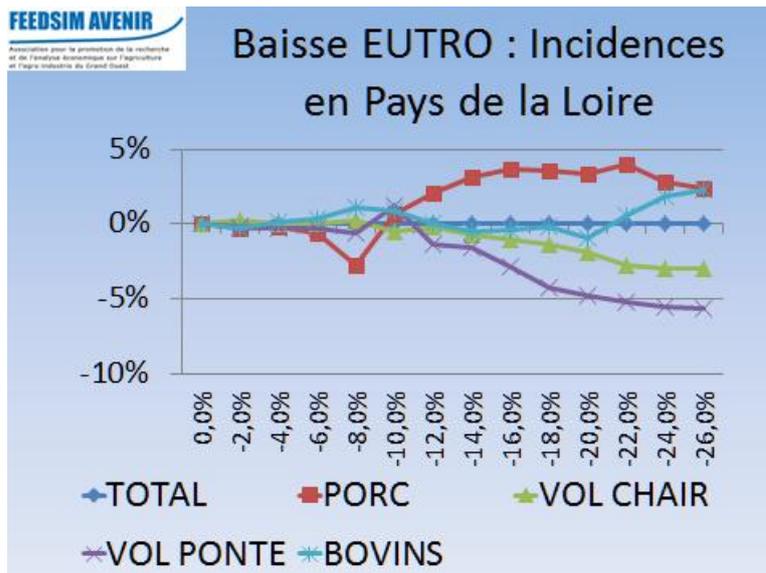


Au taux de réduction d'EUTRO de 14%, on a déjà une hausse de prix totale de 6.5%, de 5.1% pour les bovins et de 11.7% pour les porcs. Les augmentations de coût sont nettement plus limitées pour les volailles (+1.3% en chair et +0.6% en ponte). Pour le porc, la hausse de prix entre les réductions de 12 et 14% est très spectaculaire, en relation avec des substitutions importantes de matières premières.

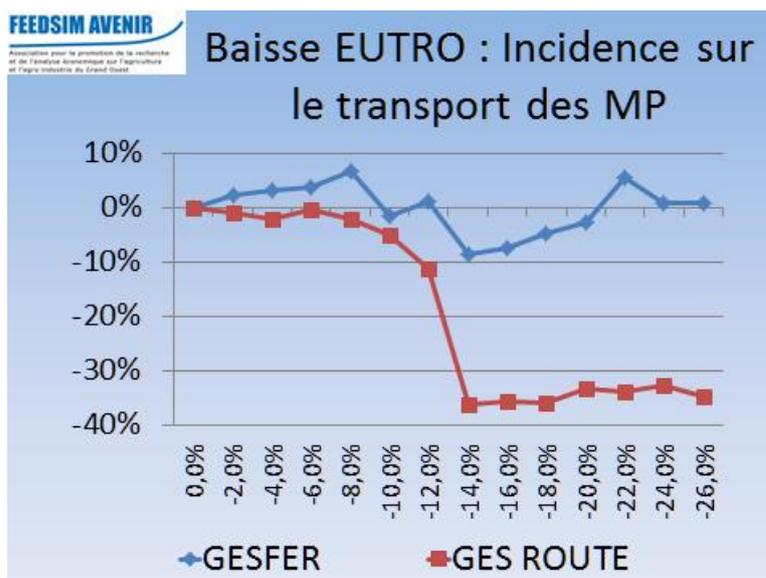
Baisse EUTRO : Incidence sur le coût d'approvisionnement en MP en Bretagne (tronqué)



Au niveau des Pays de Loire, les impacts sont relativement modérés en ce qui concerne l'indicateur EUTRO pour toutes les espèces. Des hausses de l'ordre de 2% en porcs et bovins, sont compensées par des baisses de 2 et 6% en volailles de chair et de ponte.



Au niveau du transport, alors que pour le fer, en GES ou tonnes * kilomètre, on a une oscillation de l'indice (entre + 10% et -10%) autour de 0% de variation, pour la route, on a une baisse, d'abord limitée jusqu'à -12% (environ -10%), puis brutalement une chute entre les réductions d'EUTRO de 12 et 14% et ensuite un relatif palier aux environs de -33%.

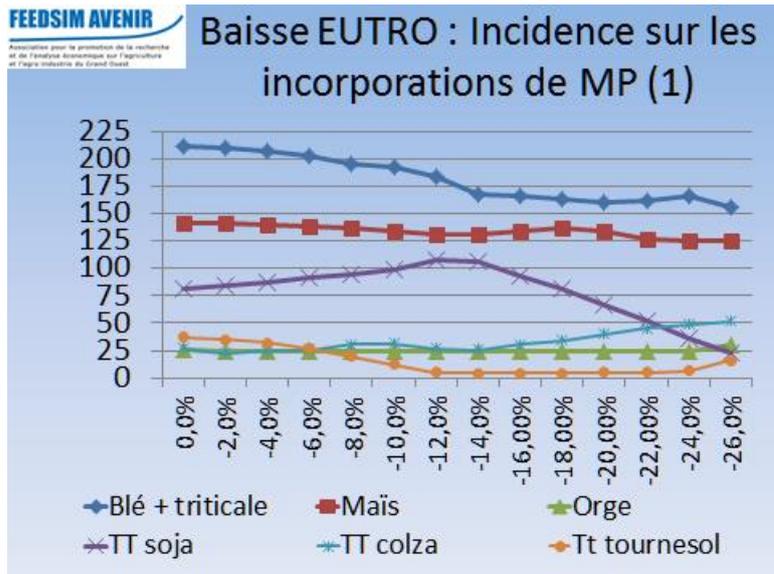


En ce qui concerne les incorporations de matières premières, on a une évolution totalement différente de celle observée pour les indicateurs précédents.

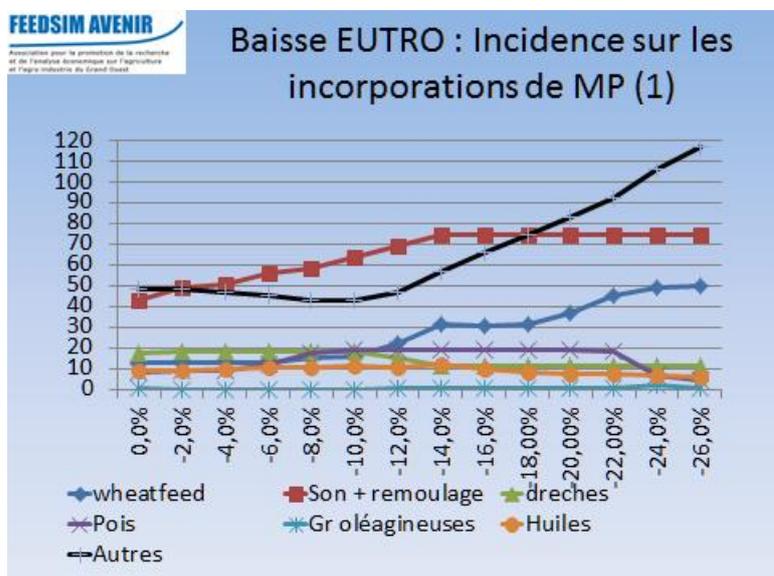
Au lieu d'augmenter, le tonnage de blé (et triticale) diminue de 56 000 t (-26%) tandis que celui de maïs diminue bien comme avant mais de façon limitée (-17 000 t, soit -12%).

Le tourteau de soja commence par augmenter jusqu'à une réduction d'EUTRO de 12 à 14%, puis diminue ensuite fortement pour perdre au total 59 000 t soit 72% de son tonnage initial. L'ajustement du soja s'effectue sur le tourteau de tournesol et non sur celui de colza comme précédemment. Entre 0 et 12% de réduction, le tonnage de soja augmente de 26 000 t alors que celui de colza est inchangé à 27 000 t et celui de tournesol diminue de 32 000 t (-86%).

Avec des réductions d'EUTRO plus importantes, le phénomène s'inverse, le tourteau de soja diminue de 85 000 tonnes par rapport à son maximum, le tourteau de colza progresse modestement de 27 000 t et celui de tournesol de 11 000 t.



Pour les autres matières premières, les évolutions d'incorporation sont aussi très spécifiques avec une nette discontinuité à la réduction d'EUTRO de 12%. Globalement le wheatfeed progresse fortement avec une multiplication par trois (+37 000 t), le son et les issues de blé progressent de 75% (+32 000 t) tandis que les drêches diminuent légèrement. Le pois après avoir atteint son maximum de disponibilités recule ensuite, tandis que les tonnages d'huiles végétales tendent à s'adapter aux variations du tourteau de soja et du pois pour équilibrer le niveau énergétique de la ration.

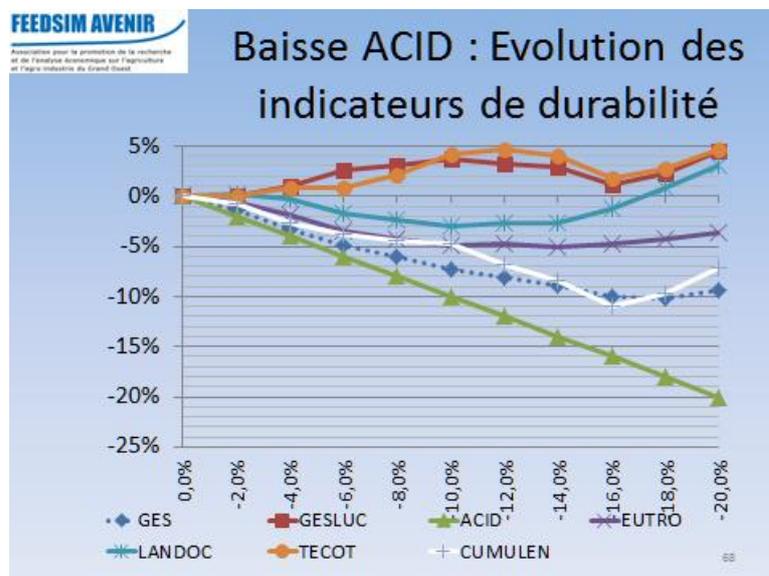


L'augmentation très forte au delà de -12 % des matières premières réunies sous le vocable « autres », dont les acides aminés lysine et méthionine, met en évidence des infaisabilités technico-économiques de ces processus de fortes réductions.

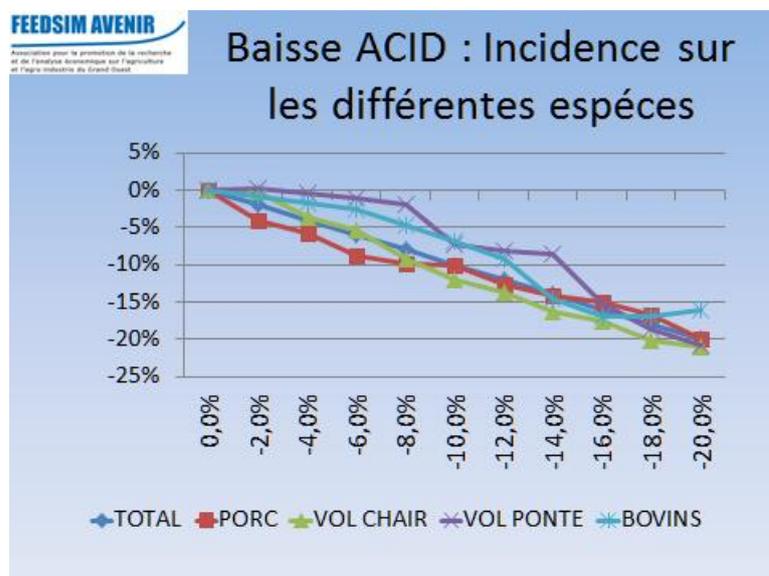
- **Réduction de l'impact acidification**

Sur un plan théorique, l'indicateur ACID peut diminuer d'un maximum de 20%, cette baisse s'accompagnant d'une baisse pour GES (-9.4%), pour CUMULEN (-7.2%) et pour EUTRO (-3.6%). Les trois autres indicateurs s'inscrivent au contraire en hausse : TECOT +4.7%, GESLUC +4.6% et LANDOC +3.1%. Pour des indicateurs tels que LANDOC et CUMULEN, on observe des

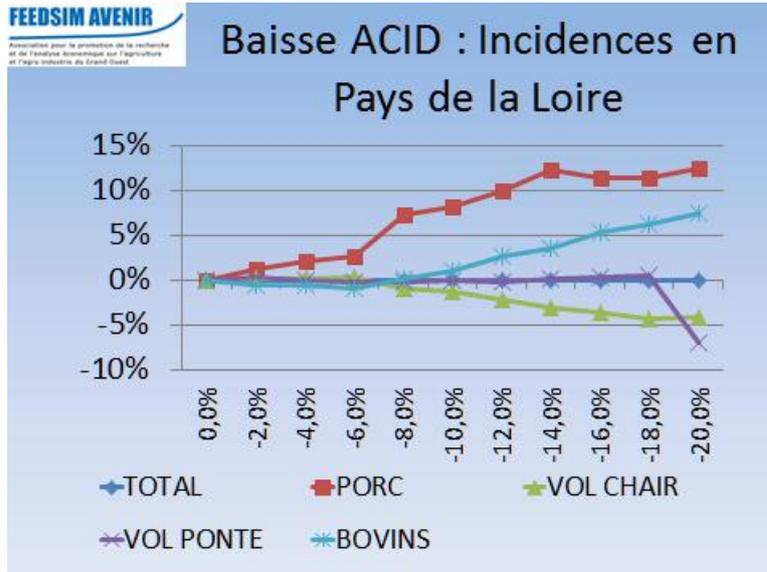
évolutions d'abord à la baisse, puis à partir d'un certain taux de réduction d'ACID (respectivement 10% et 16%) une inversion de tendance et une reprise plus ou moins forte. Cela est en relation avec des substitutions de matières premières très spécifiques.



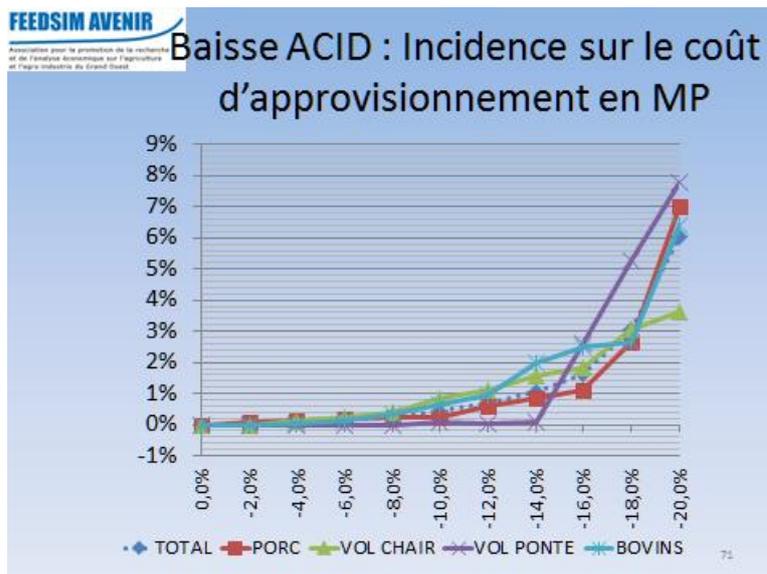
En matière d'espèce animale, les aliments porcs diminuent au total de 20% comme l'ensemble des aliments, les bovins de 16.2% et les volailles de chair et de ponte de respectivement 21.0% et 20.7%.



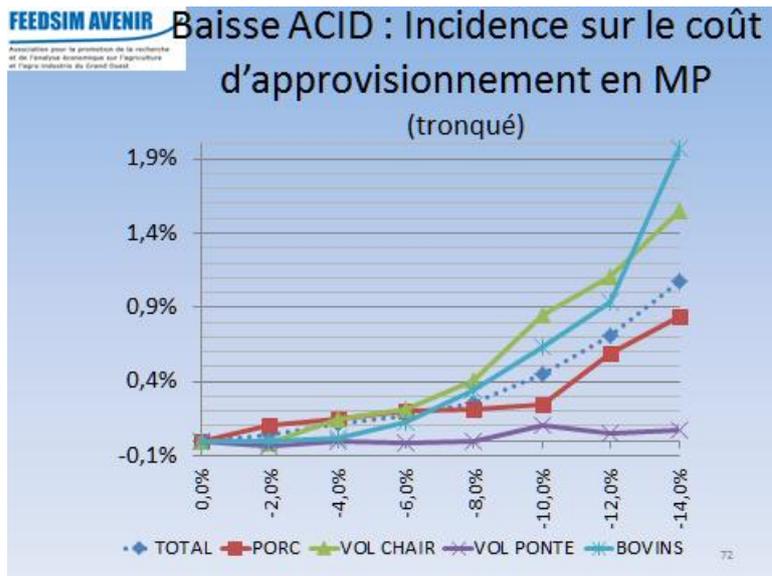
Au niveau des Pays de la Loire, la réduction bretonne en ACID se traduit par une nette augmentation pour porcs (+12.4%) et bovins (+7.5%) qui est compensée par des diminutions pour les volailles de chair et de ponte (-4.2 et -7.0%).



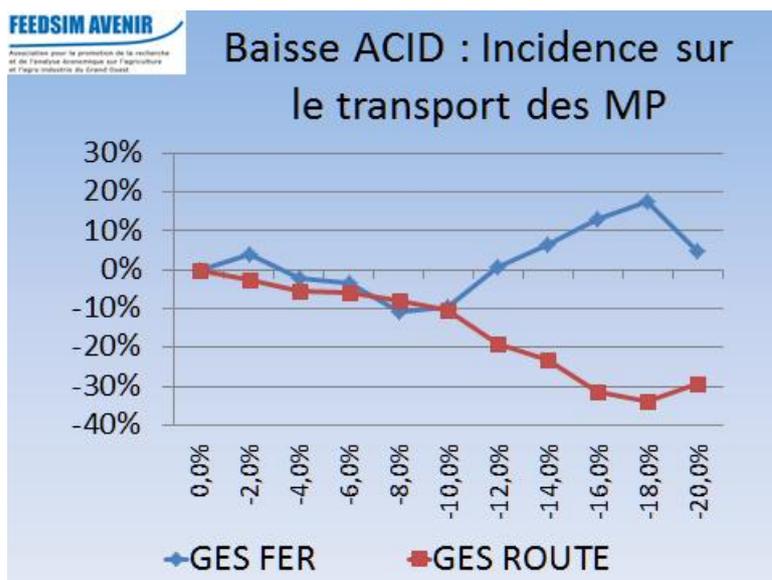
La baisse théorique de 20% d'ACID se traduirait par une hausse globale du coût matières premières de l'ensemble des aliments de 6.0%, avec un minimum pour les volailles de chair (+3.7%) et un maximum de 7.8% pour les volailles de ponte (+7.8%), les porcs et les bovins présentant des augmentations intermédiaires (+7.0 et +6.4%).
En ce qui concerne les volailles de chair on observe une nette rupture et une accélération de la hausse au niveau de réduction d'ACID de 14%.



Dans les premières phases de réduction d'ACID, les prix augmentent plus faiblement mais atteignent cependant 2.0% pour les bovins à -14% et 1.6% pour les volailles de chair, la hausse globale étant de 1.1%.



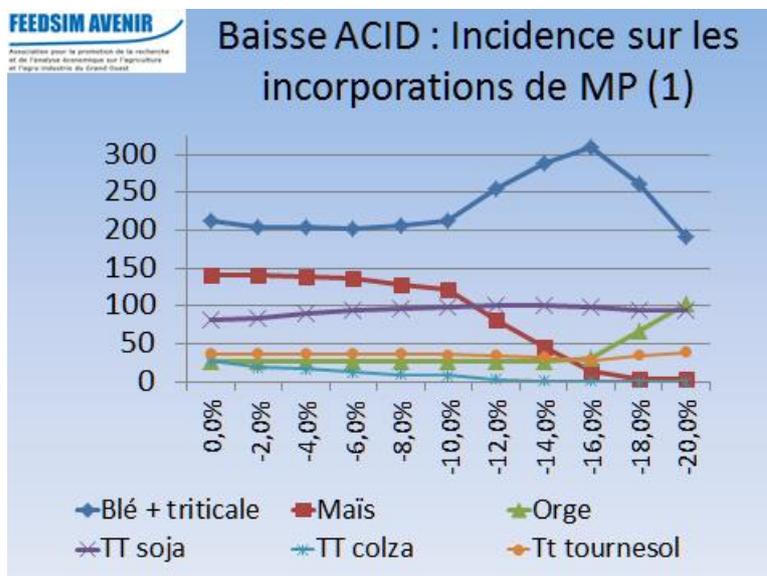
Au niveau de l'impact sur le transport, une baisse simultanée des tonnes * kilomètres pour la route et le fer jusqu'à une réduction de -10% avec une préférence donnée aux matières premières locales ; Au-delà de -10 %, on note une nette augmentation du trafic ferroviaire contrebalancée par une diminution notable de la route.



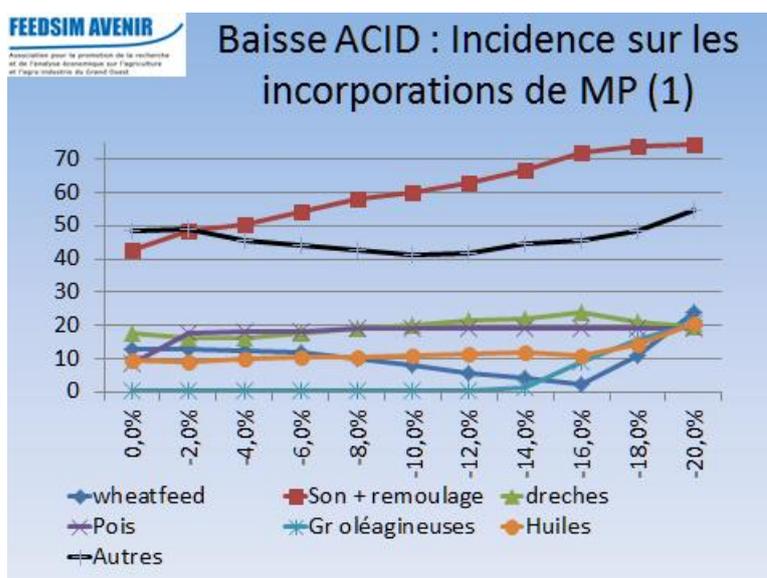
Au niveau des incorporations de matières premières jusqu'à une réduction de 10% d'ACID on a de faibles évolutions en ce qui concerne les céréales. Entre -10% et -16% de réduction d'ACID, le blé se met à augmenter de 98 000 t (+46%) tandis que le maïs tend à disparaître (-109 000 t). Dans la dernière phase de réduction l'évolution s'inverse pour le blé avec une diminution de plus de 100 000 t tandis que l'orge se met à augmenter fortement (+72 000 t). Globalement, par rapport au passage de référence, le blé retrouve au final pratiquement son niveau initial tandis que le maïs disparaît et l'orge voit son tonnage multiplié par quatre.

En ce qui concerne les tourteaux, les évolutions sont plus modestes. Le tourteau de soja après une première phase d'augmentation (+20 000 tonnes à -14%) diminue par la suite pour, in fine se situer seulement 14 000 t (+17%) au-dessus de sa valeur d'origine. Le tourteau de colza disparaît tandis que le tourteau de tournesol évolue peu.

Globalement le tonnage total de céréales recule de 82 000 t (-22%) et celui de tourteaux de 11 000 t (-8%).



Au niveau des autres matières premières, toutes s'inscrivent en progression pour compenser le recul global des céréales et tourteaux. C'est particulièrement le cas du wheatfeed (+84%) et des sons et issues (+74%). Dans le même temps, le pois progresse et atteint rapidement son niveau de saturation (19 000 t), pour contrebalancer le recul des matières premières les plus énergétiques (céréales et en particulier maïs) les incorporations de graines oléagineuses, nulles au départ atteignent 20 000 t et celles d'huiles végétales (+11 000 tonnes) font plus que doubler.



- **Les coûts marginaux de réduction un à un des divers indicateurs**

Toute forme de réduction imposée au niveau régional pour un indicateur environnemental quelconque se traduit par une hausse du coût matière des aliments plus ou moins

importante. Il est intéressant d'examiner dans chaque cas le coût par unité de réduction (tonne de CO₂, kilo de phosphore, etc.).

On distingue classiquement deux types de coûts unitaires, le coût moyen et le coût marginal. Le coût moyen est calculé en divisant, pour une valeur donnée de la réduction de l'indicateur considéré, l'augmentation du coût total par la réduction totale de l'indicateur. Il y a donc une valeur unitaire moyenne différente pour chaque niveau de réduction, ce coût unitaire tendant à augmenter au fur et à mesure que la réduction augmente.

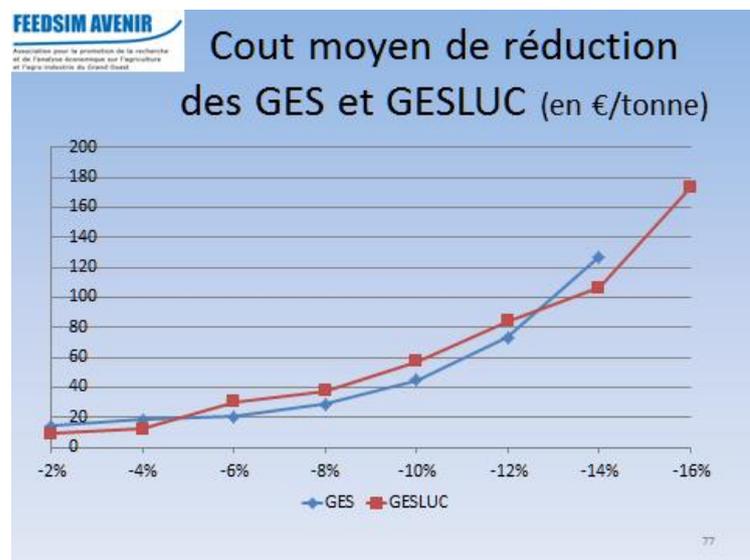
Le coût marginal est obtenu en divisant l'augmentation de coût calculé entre x et $x+\delta$ de réduction et la réduction de l'indicateur entre x et $x+\delta$. Delta représente le pas de calcul des réductions (en l'occurrence 2%). Comme pour le coût moyen, le coût marginal tend à augmenter avec le taux de réduction (une même réduction est d'autant plus coûteuse à obtenir que l'on a déjà réalisé une forte réduction), les premières réductions étant les plus « faciles ».

L'intérêt du coût (unitaire) marginal est que sur un plan théorique il peut être interprété comme la taxe équivalente qui, appliquée à l'indicateur considéré, conduirait à la réduction considérée de l'indicateur. Ce résultat est démontré pour des fonctions continues et approché pour des fonctions « par palier » telles que celles obtenues comme résultats de la programmation linéaire.

- *GES et GESLUC*

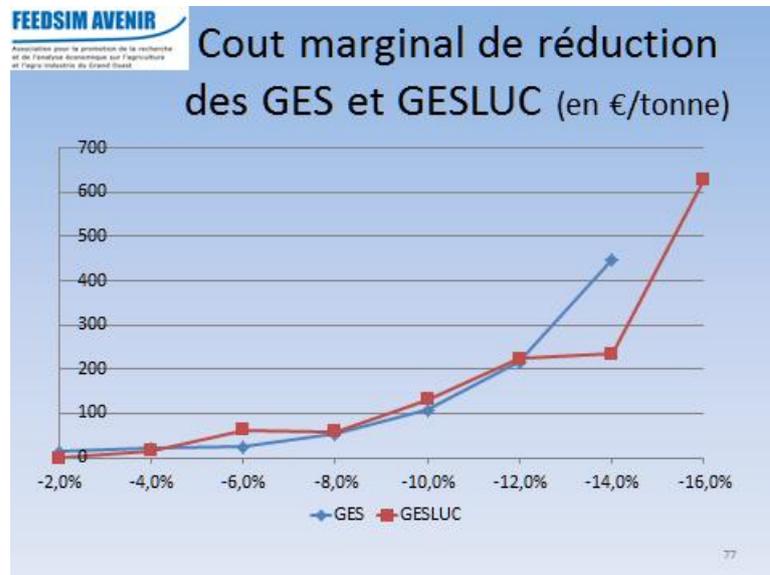
D'un point de vue purement « technique » on peut réduire les GES au maximum de 14% soit 580 000 tonnes de CO₂ sur une année avec une hausse de coût de 74 millions d'€ (+3.3%) soit un coût moyen de 127 €/tonne. Pour les GESLUC on peut aller jusqu'à -16% avec une réduction sur une année de 772 000 tonnes de CO₂ et une hausse de coût de +134 M€ (+6.3%) soit un coût moyen pour ce niveau de réduction de 173€/t de CO₂.

La courbe suivante montre l'évolution des coûts moyens pour les deux indicateurs.



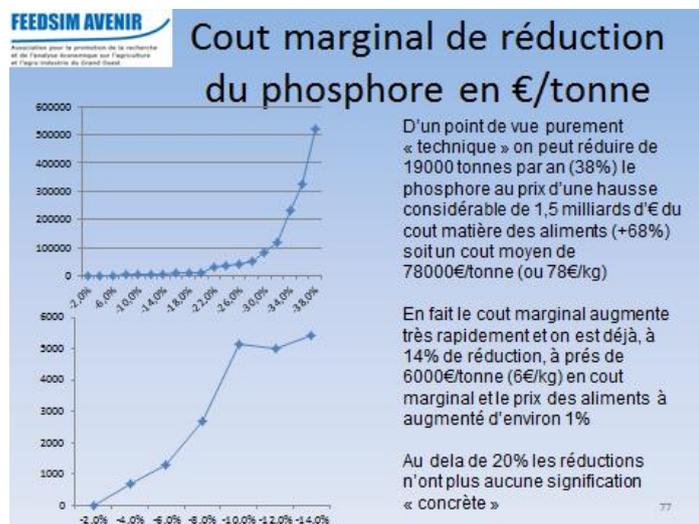
En ce qui concerne les coûts marginaux, à partir de -10%, on atteint des niveaux très élevés. Les valeurs finales (448€/tonne de CO₂ pour GES et 628 pour GESLUC) indiquent les taxes qu'il faudrait théoriquement imposer sur le CO₂ pour obtenir les réductions d'émission correspondantes (respectivement 14 et 16%). Ces valeurs sont sans commune mesure avec le prix du carbone sur le marché.

On peut noter qu'une taxe de l'ordre de 55€/t CO² réduirait les émissions de GES et de GESLUC d'environ 8%, mais coûterait à la filière nutrition animale sur une année environ 210 millions



- *TECOT, LANDOC, CUMULEN*

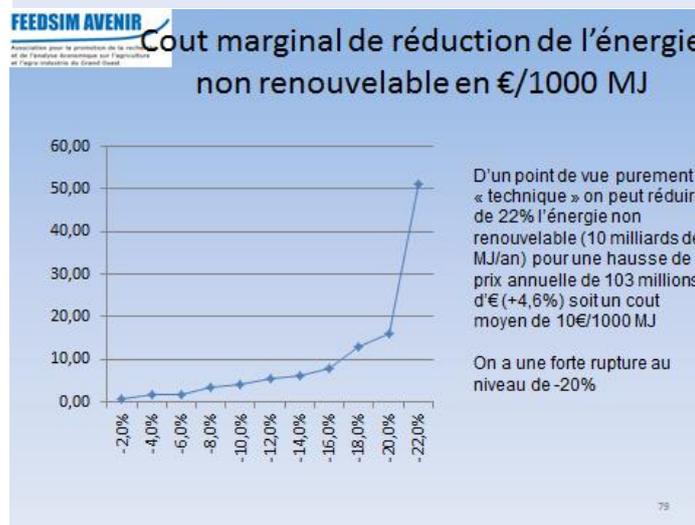
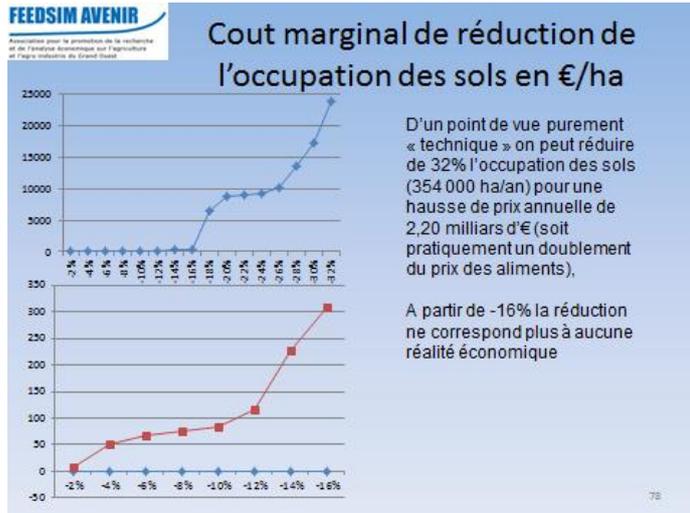
Les figures suivantes présentent ces mêmes analyses pour les autres indicateurs principaux.



D'un point de vue purement « technique » on peut réduire de 19000 tonnes par an (38%) le phosphore au prix d'une hausse considérable de 1,5 milliards d'€ du cout matière des aliments (+68%) soit un cout moyen de 78000€/tonne (ou 78€/kg)

En fait le cout marginal augmente très rapidement et on est déjà, à 14% de réduction, à près de 6000€/tonne (6€/kg) en cout marginal et le prix des aliments à augmenté d'environ 1%

Au delà de 20% les réductions n'ont plus aucune signification « concrète »

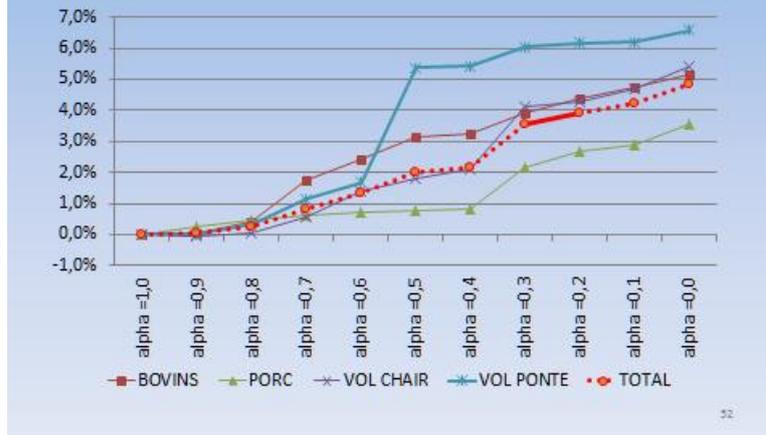


Étape 3 : Optimisation multicritère

- **Résultats de simulation par catégorie d'aliments composés**

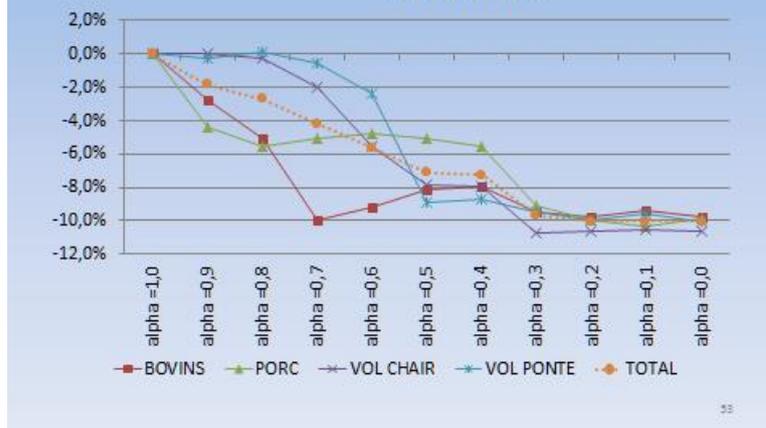
Les coûts matière évoluent en fonction de l'évolution de α et c_e , de façon différente pour les diverses catégories d'aliments composés. Comme indiqué précédemment, tous les ratios de prix valent 1 quand α vaut 1 et ceux-ci augmentent quand α diminue.

Evolution des ratios de cout MP par espèce animale

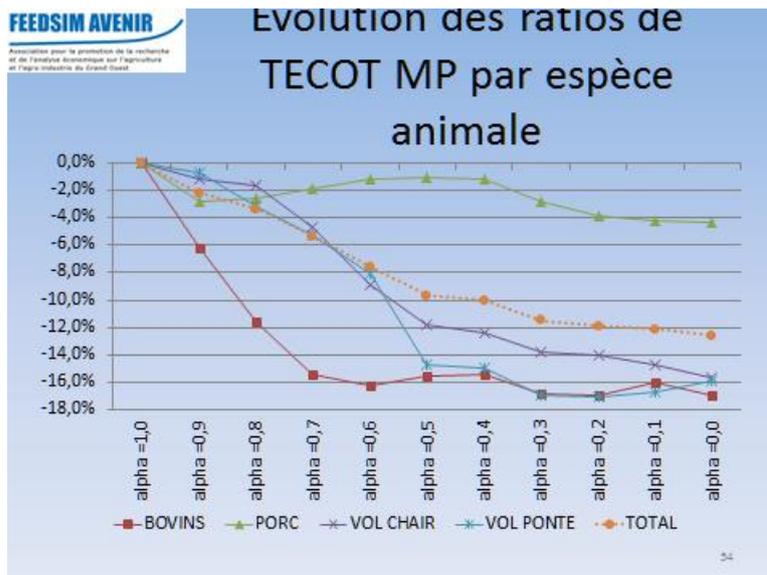


Le coût matière augmente de 4.8% pour l'ensemble des aliments composés, un peu plus pour les bovins et volailles de chair. Alors que pour le porc la hausse est plus faible (3.6%), elle est plus forte pour les volailles de ponte.

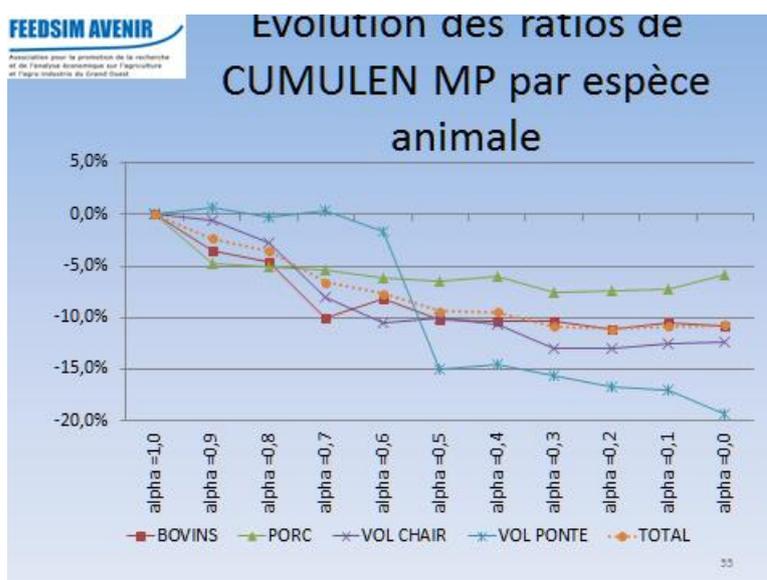
Evolution des ratios de GESLUC MP par espèce animale



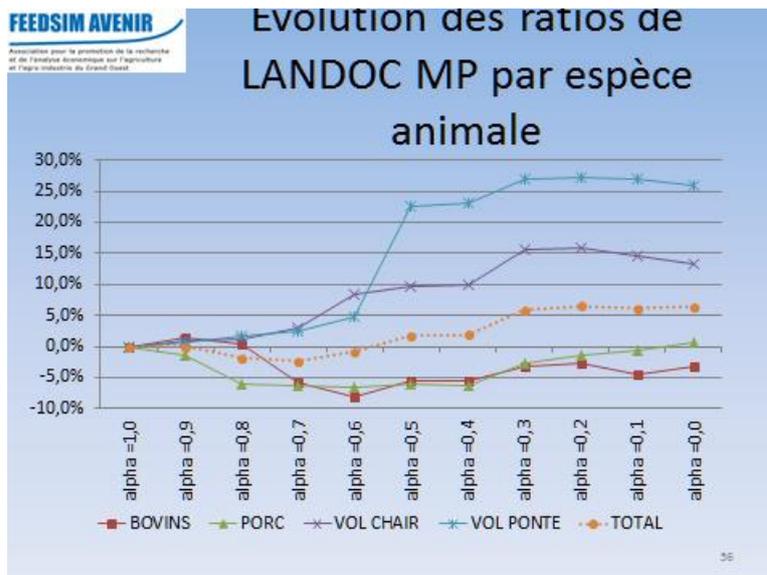
Pour tous les indicateurs de développement durable, on a retenu les valeurs correspondant aux seules matières premières à l'exclusion du transport et du process. Pour les GESLUC qui apparaissent dans la fonction objectif, la baisse est de l'ordre de 10% pour toutes les espèces lorsque α est inférieur ou égal à 0.3. Pour les valeurs plus proches de 1, on observe dans un premier temps de fortes baisses pour les bovins et dans une certaine mesure les porcs, et au contraire pour les volailles de chair et de ponte il faut attendre que α atteigne 0.7 pour observer un début de baisse significatif.



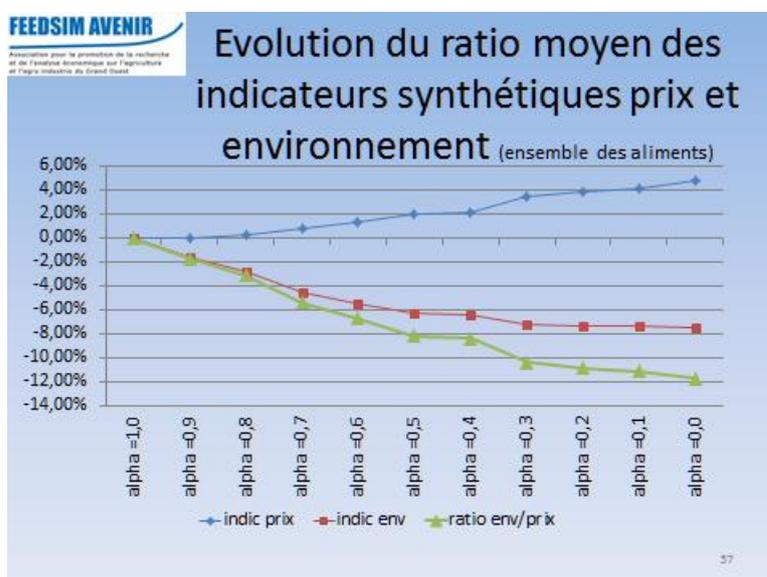
Pour TECOT la baisse pour l'ensemble des aliments est d'environ 12%, de 16% pour les bovins, volailles de chair et de ponte, mais seulement de 4% pour les porcs. La diminution du ratio pour les bovins s'amorce beaucoup plus rapidement que pour les autres espèces.



Pour CUMULEN la baisse maximale pour l'ensemble des aliments (comme pour les bovins) est d'environ 11%. Elle est plus importante de façon limitée pour les volailles de chair (-12%) et surtout pour les volailles de ponte (-19%). Pour cette dernière catégorie la diminution s'effectue de façon brutale quand α passe de 0.6 à 0.5. Pour le porc, la baisse maximum est seulement d'environ 5%.



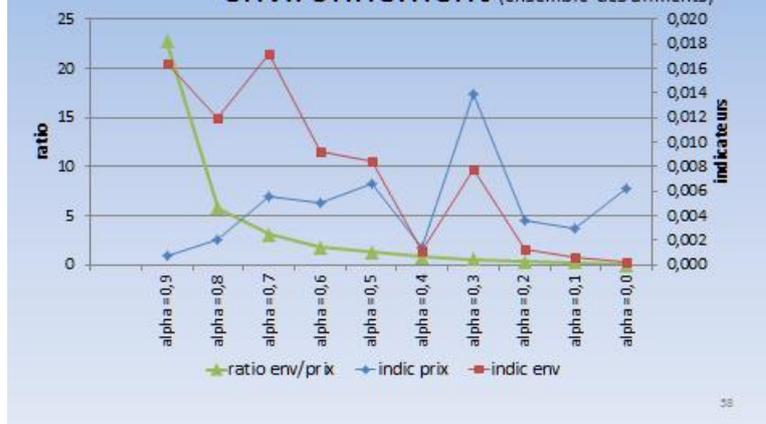
L'évolution du ratio de LANDOC est très différente de celle des autres indicateurs. Pour l'ensemble des aliments, bien que cet indicateur soit pris en compte dans la fonction objectif à minimiser, le ratio augmente d'un peu plus de 6%. Après avoir sensiblement baissé pour des valeurs intermédiaires de α , le ratio pour le porc retrouve pratiquement son niveau de départ quand α vaut 1. L'aliment bovin est le seul pour lequel on enregistre une certaine baisse (-3%). Pour les aliments volailles de chair et de ponte on observe en sens inverse de fortes hausses de respectivement 13 et 26%. Ces résultats illustrent à nouveau le caractère antagoniste entre LANDOC et les autres indicateurs. Toutes ces évolutions s'expliquent naturellement par les changements de composition des aliments (global et par espèce animale) lorsque α diminue et que l'on prend de plus en plus en compte les critères environnementaux.



Lorsque α passe de 1 à 0, l'indicateur synthétique prix augmente de 4.8% et celui, pondéré, des impacts environnementaux diminue de 7.4%. Le ratio entre ces deux indicateurs ne cesse de diminuer (-11.7%). On observe globalement des variations dans la pente des trois courbes avec une tendance à l'« aplatissement » à partir de $\alpha=0.3$.

Il est intéressant de prendre en compte ces différences de pentes pour définir une « valeur optimale » de α .

Evolution du ratio marginal des indicateurs synthétiques prix et environnement (ensemble des aliments)



Sur ce graphique on a représenté les variations (en valeur absolue) des deux indicateurs (exprimés en pourcentage) entre deux valeurs successives de α . Ainsi quand ce paramètre de pondération passe de 1 à 0.9, l'indicateur prix augmente de 0.0007 tandis que l'indicateur « environnement » diminue (en valeur absolue) de 0.0164, soit un ratio environnement/prix d'environ 23. Cela signifie que l'amélioration de l'environnement est 23 fois plus importante que la hausse de prix. Quand α passe de 0.9 à 0.8, on a une hausse du prix de 0.0021 et une baisse de l'indicateur environnemental de 0.0120 soit un ratio d'environ 6. Quand α continue à diminuer le ratio des deux indicateurs continue à diminuer pour atteindre à la fin 0.036. Ce ratio passe par une valeur de 1.26 pour $\alpha=0.5$ et 0.79 pour $\alpha=0.4$. C'est donc entre ces deux valeurs de α que le ratio vaut 1 qui correspond à la situation où l'augmentation de prix est exactement compensée par la diminution de l'impact environnemental.

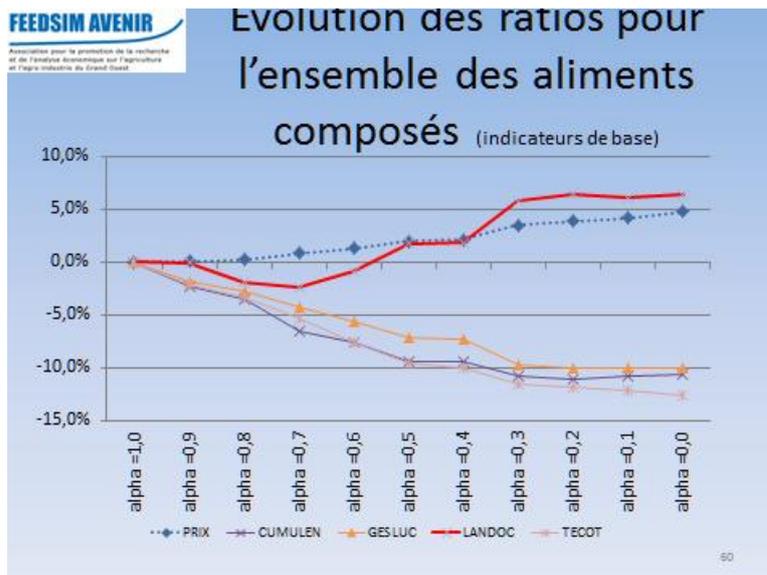
On peut s'étonner par la forme des deux courbes prix et environnement lorsque α passe de 0.5 à 0.4. Elles indiquent qu'entre ces deux valeurs, il y a de très faibles modifications de composition des aliments en terme de matières premières et donc que prix et environnement varient très peu.

- **Résultats des simulations par indicateur de développement durable et utilisations de matières premières**

Dans les graphiques suivants on a séparé les 4 indicateurs qui sont pris en compte dans la fonction objectif (GESLUC, CUMULEN, TECOT, LANDOC) et 4 autres indicateurs importants (GES, ACID, ENTOT et EUTRO). Il est en particulier intéressant de noter certaines différences d'évolutions qui peuvent apparaître entre des indicateurs « voisins » tels que GES/GESLUC et ENTOT/CUMULEN.

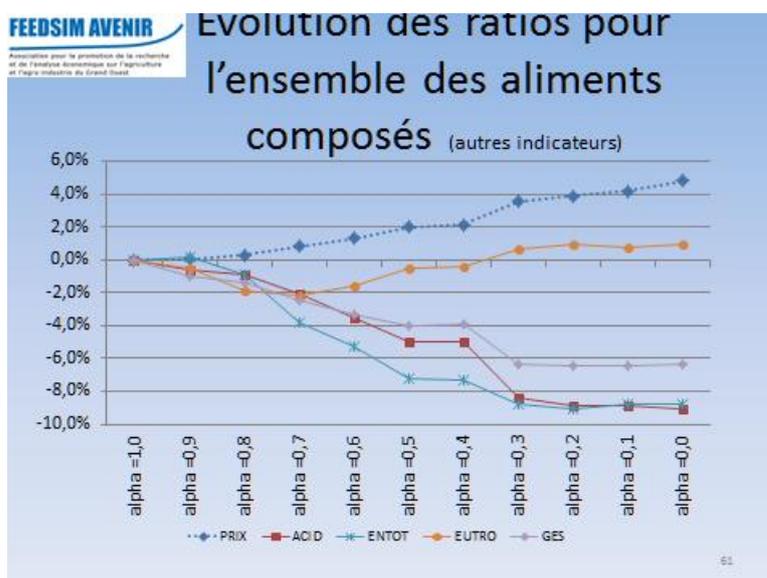
Ensemble des aliments composés

Comme observé précédemment trois des quatre indicateurs inclus dans la fonction objectif (GESLUC, CUMULEN et TECOT) font apparaître une baisse de l'ordre de 10% quand α diminue de 1 à 0, tandis que LANDOC, après avoir baissé légèrement dans un premier temps, finit par augmenter de plus de 5%.



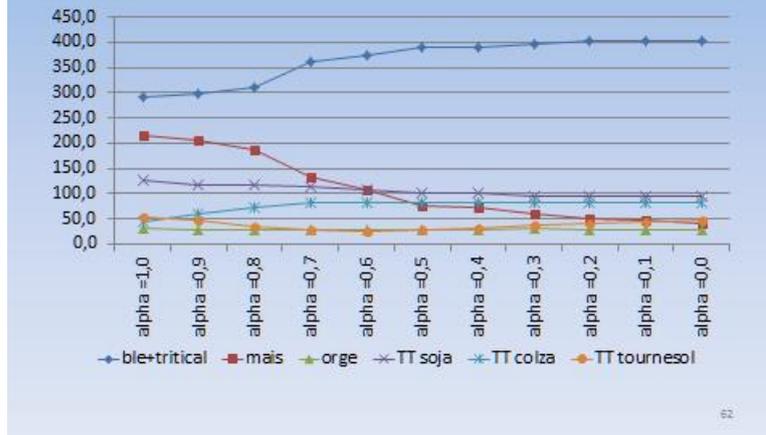
La hausse de prix quand $\alpha=0$ est de 4.8%.

Trois des quatre autres indicateurs environnementaux s'inscrivent en baisse de 6 à 9%, tandis que EUTRO, après avoir légèrement baissé dans un premier temps, finit par légèrement augmenter (de moins de 1%). Alors que la baisse maximum de GESLUC est de 10%, celle de GES est de seulement 6.4%. De même la baisse de CUMULEN est de 10.7% alors que celle de ENTOT est de seulement 8.7%.



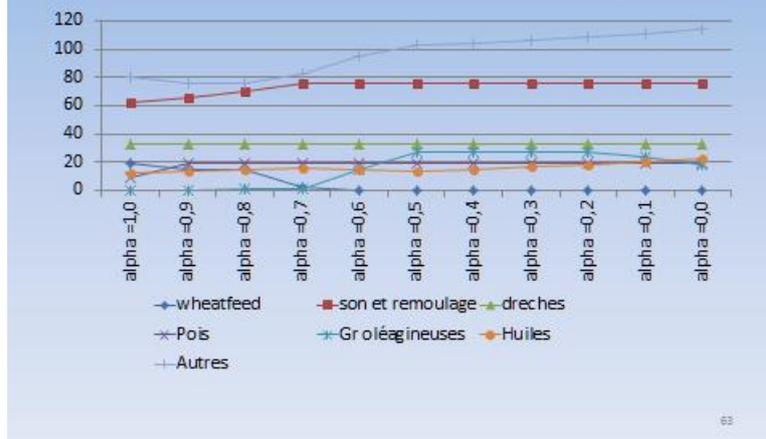
On observe donc un effet d'entraînement global sur (presque) tous les indicateurs qu'ils soient pris en compte dans la fonction objectif ou non, mais avec des amplitudes plus faibles pour ces derniers.

Evolution des incorporations de MP dans l'ensemble des AC (1) (kt)



Lorsque α diminue, l'évolution principale est une forte substitution du maïs (-173 000 tonnes sur le mois) par du blé (et du triticale) +111000 tonnes. L'orge varie très peu. On constate aussi un net recul du tourteau de soja (-32 000 t) qui est remplacé par plus de tourteau de colza (+37000 t). La substitution du maïs par le blé permet de diminuer les valeurs en GESLUC et CUMULEN, mais tend à augmenter les valeurs en TECOT et LANDOC. La substitution du tourteau de soja par du tourteau de colza, permet de diminuer fortement le GESLUC et notablement TECOT, CUMULEN et LANDOC.

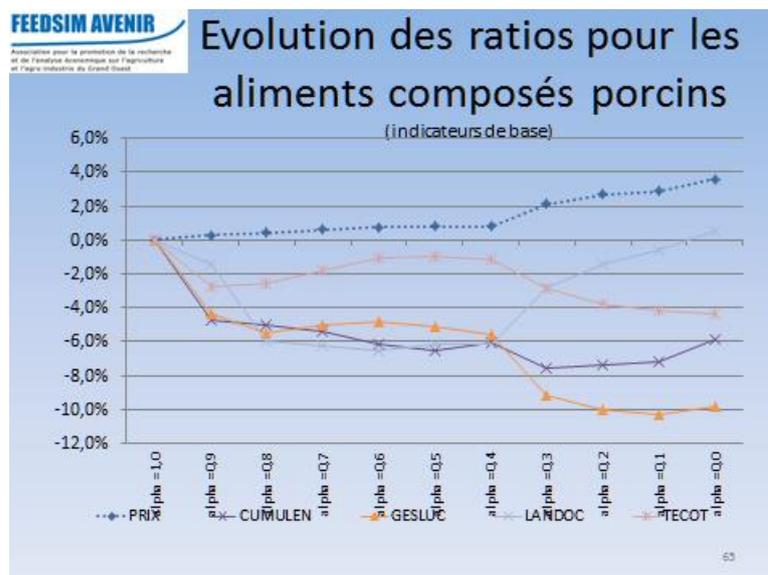
Evolution des incorporations de MP dans l'ensemble des AC (2) (kt)



Parmi les autres matières premières, on a une disparition du wheatfeed, et des hausses des sons et remoulage, pois, huiles et graines oléagineuses. Ces dernières ont pour objet de compenser dans les formulations la différence énergétique entre le blé et le maïs et aussi entre le tourteau de soja et celui de colza. Pour le pois, après une première augmentation on atteint rapidement la saturation des disponibilités. La forte augmentation de la catégorie « autres » est presque totalement due à la forte augmentation des utilisations de corn-gluten-feed (cgf).

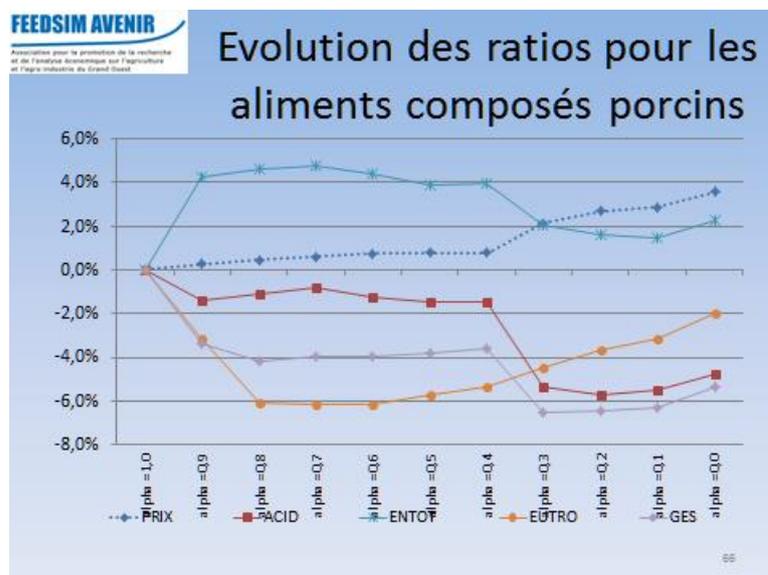
Aliments composés pour porcs

Les aliments composés pour porcins représentent dans le Grand-ouest la principale catégorie avec environ 38% du total.



En ce qui concerne les quatre principaux indicateurs, on observe une hausse de prix de 3.6% une baisse plus ou moins importante de trois des paramètres d'environnement (GESLUC, TECOT et CUMULEN) et une très légère hausse de LANDOC de 0.6%. GESLUC présente la plus forte baisse (-9.8%), devant CUMULEN (-5.9%) et TECOT (-4.4%).

La forme des différentes courbes est très différente. Les quatre indicateurs diminuent sensiblement dès $\alpha=0.9$, mais alors que la baisse s'amplifie de façon assez régulière pour GESLUC et CUMULEN, on a pour TECOT une remontée pour les valeurs moyennes de α suivie d'une nouvelle baisse. Pour LANDOC, l'évolution est tout à fait spécifique. Après avoir baissé d'un maximum de 6.5% pour $\alpha=0.6$, on a ensuite une forte remontée très marquée à partir de 0.4.



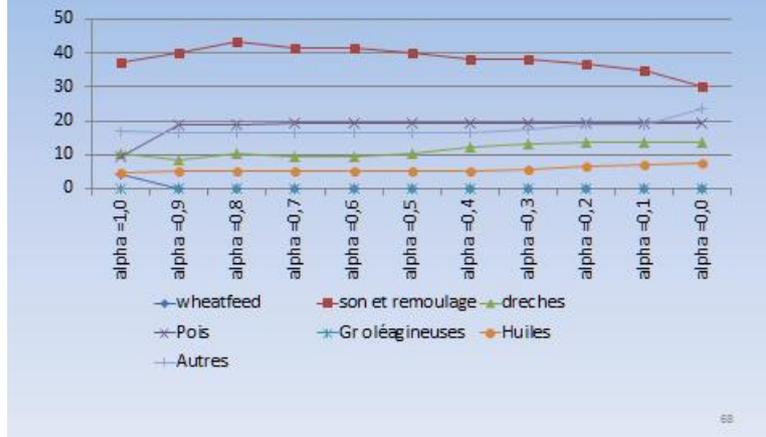
Les autres indicateurs s'incrinvent à la baisse quand $\alpha=0$ (-4.8% pour ACID, -5.4% pour GES et -2.0% pour EUTRO) sauf ENTOT qui après avoir connu une hausse de près de 5% termine avec une progression de 2.3%. Là aussi les formes des courbes sont assez irrégulières en liaison avec les substitutions entre matières premières.

Evolution des incorporations de MP dans les AC porcs(1) (kt)



Comme dans le cas de l'ensemble des aliments composés on a une progression du blé (+23 000 t sur le mois) et une baisse du maïs (-31 000 t) et aussi un recul du tourteau de soja (-8 000 t) qui était déjà faible en pourcentage quand $\alpha=1$ et une progression du tourteau de colza (+13 000 t). Les mécanismes généraux de substitution s'expliquent de la même façon que pour l'ensemble des aliments composés.

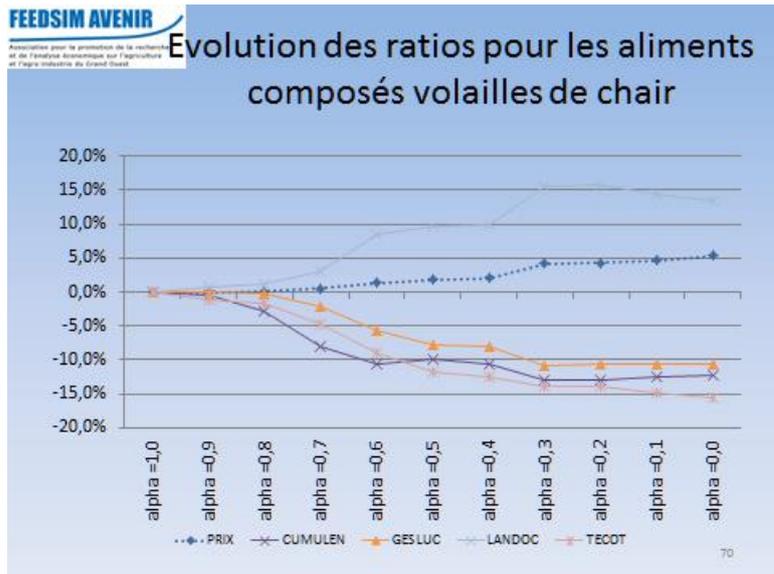
Evolution des incorporations de MP dans les AC porcs(2) (kt)



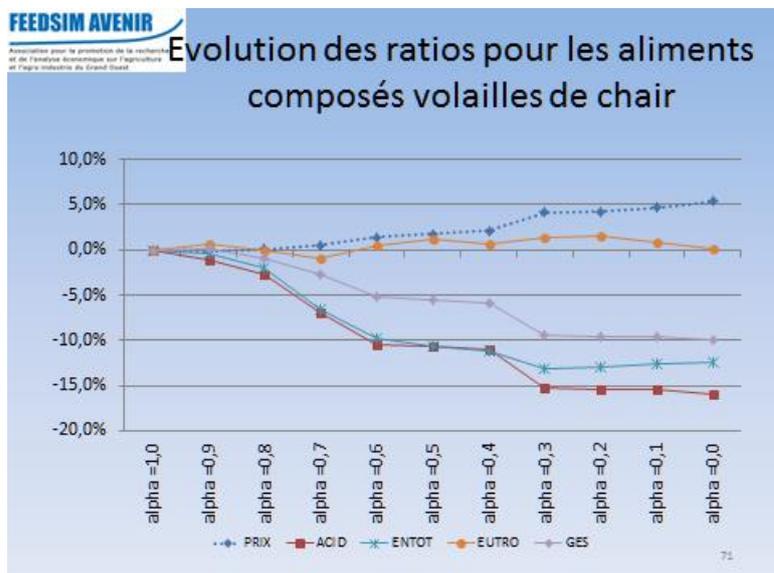
Pour les autres familles de matières premières on a une progression du pois (qui atteint rapidement son maximum de disponibilités) ainsi que des huiles végétales (afin de compenser le niveau énergétique de la ration).

Aliments composés pour volailles de chair

Les aliments composés pour volailles de chair constituent la seconde catégorie avec environ 32% du total.



La hausse de prix quand $\alpha=0$ est de 5.4% soit sensiblement plus que pour les aliments composés porcs (+3.8%) et pour l'ensemble des aliments composés (+4.8%). Cette forte augmentation de prix indique que pour les volailles de chair, compte tenu des contraintes élevées en protéines (en fait en acides aminés) et énergie, les substitutions se font plus difficilement qu'en porc. Comme pour l'ensemble des aliments composés on a une nette amélioration de trois critères environnementaux (TECOT -15.6%, CUMULEN -12.3% et GESLUC -10.7%), mais une forte augmentation de LANDOC (+13.4%).



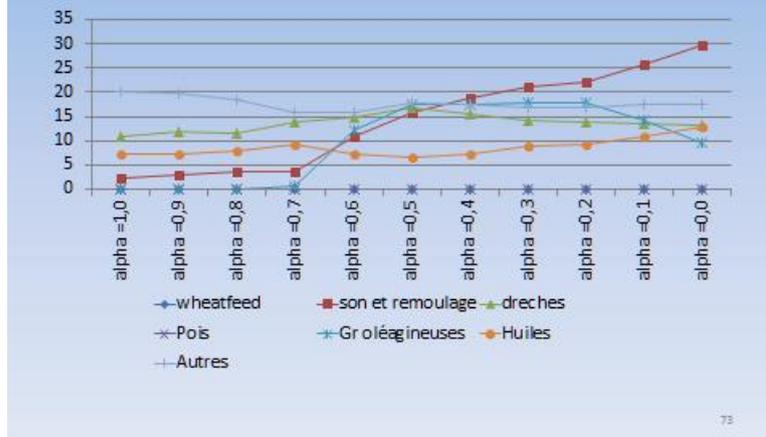
Pour les autres indicateurs, par effet d'entraînement on a des baisses pour ACID, ENTOT et GES, mais EUTRO, après avoir légèrement augmenté, diminue puis revient pratiquement à son niveau d'origine. Les baisses en GESLUC et GES sont pratiquement du même niveau, de même que les baisses en CUMULEN et ENTOT.

Evolution des incorporations de MP dans les AC volailles de chair (1) (kt)



La principale évolution est une forte progression du blé (dès les valeurs élevées de α telles que 0.7), +49 000 t au final et une très forte chute du maïs (-87 000 t) qui disparaît pratiquement des rations. Le tourteau de soja pour sa part baisse très faiblement (-9 500 t, soit -15%) et est partiellement remplacé par du tourteau de tournesol (+3 600 t).

Evolution des incorporations de MP dans les AC volailles de chair (2) (kt)

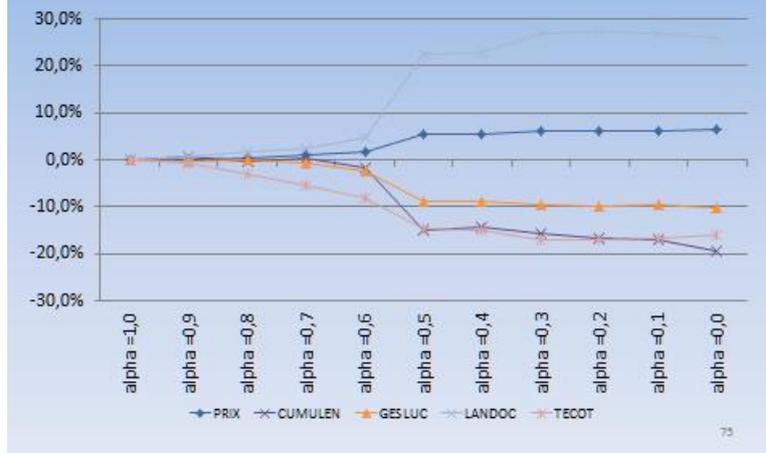


Au niveau des autres matières premières, on a une très forte progression des sons et issues (+28 000 t, ces produits n'étant pratiquement pas utilisés quand $\alpha=1$), une progression des drèches ainsi qu'une forte augmentation des huiles et graines oléagineuses destinées au rééquilibrage énergétique.

Aliments composés pour volailles de ponte

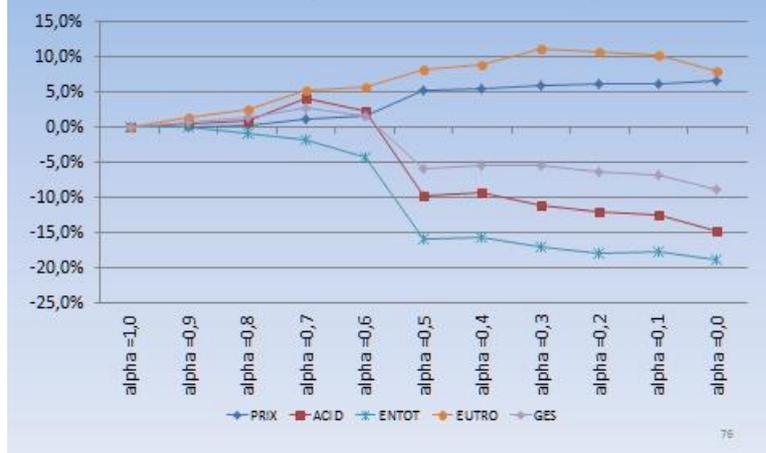
Pour les volailles de ponte on a une augmentation du prix de 6.6% encore plus élevée que pour les volailles de chair (+5.4%).

Evolution des ratios pour les aliments composés volailles de ponte

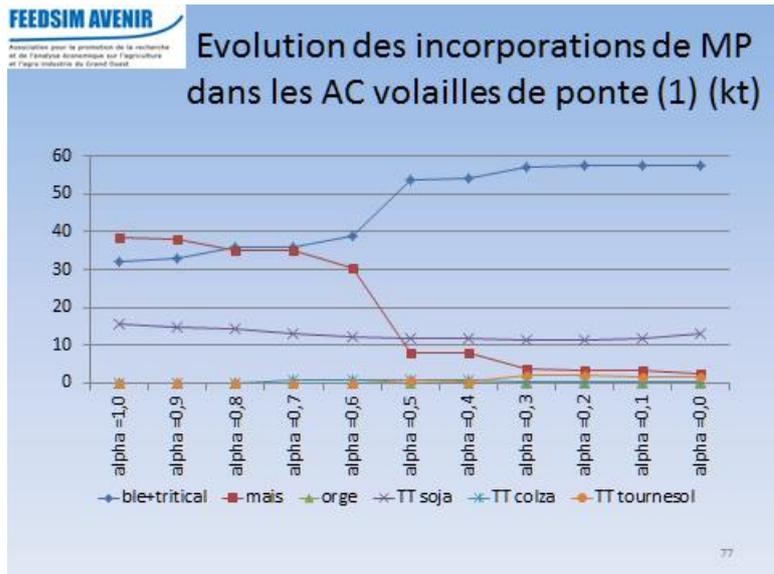


Quand $\alpha=0$ les changements de valeurs des indicateurs environnementaux par rapport à $\alpha=1$ sont très importantes. Ainsi GESLUC diminue de 10.1%, TECOT de 16.0% et CUMULEN de 19.3%, mais cette amélioration se « paye » outre la forte hausse de prix, par une très forte dégradation de LANDOC qui augmente de 26.0%.

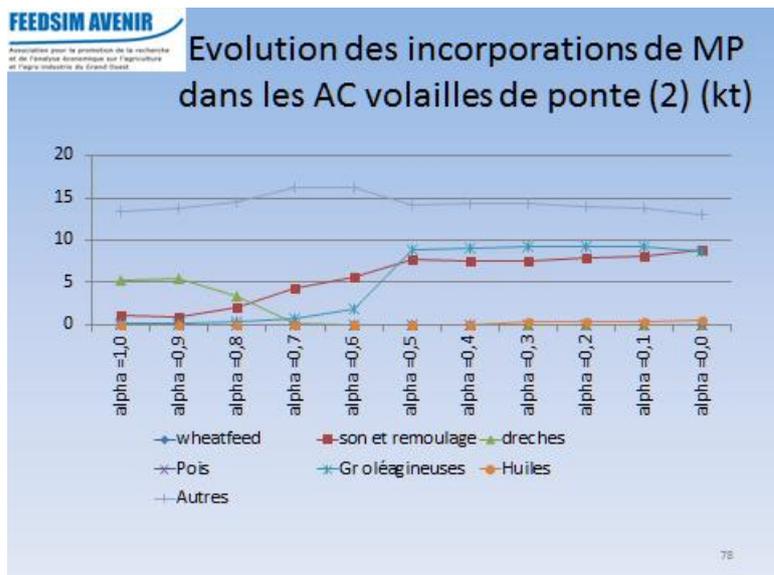
Evolution des ratios pour les aliments composés volailles de ponte



Les autres indicateurs sont en baisse pour ENTOT (-18.8%), ACID (-14.8%) et pour GES (-8.9%), par contre EUTRO augmente de 8%.



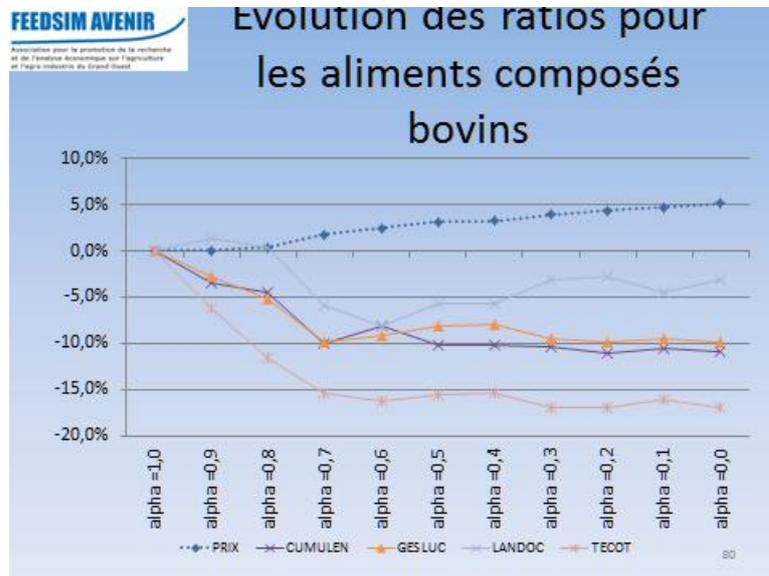
On observe une substitution essentielle avec le remplacement du maïs (-36 000 t soit -93%) par du blé (+25 000 t soit +79%). Le tourteau de soja recule très légèrement au profit du tournesol.



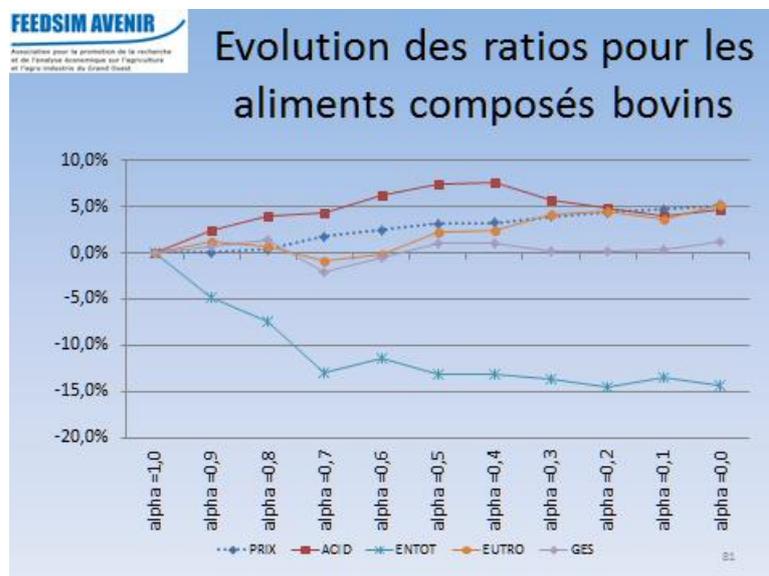
Pour les autres matières premières, la principale évolution est la forte progression des sons et issues (très peu présents dans les formules au départ) associée à une forte progression des graines oléagineuses.

Aliments composés pour bovins

Les aliments composés pour bovins représentent environ 16% du total des aliments composés et sont constitués pour à peu près 53% d'aliments « type 18 » (pour bovins et vaches laitières) et 47% d'aliments « type 40 ».

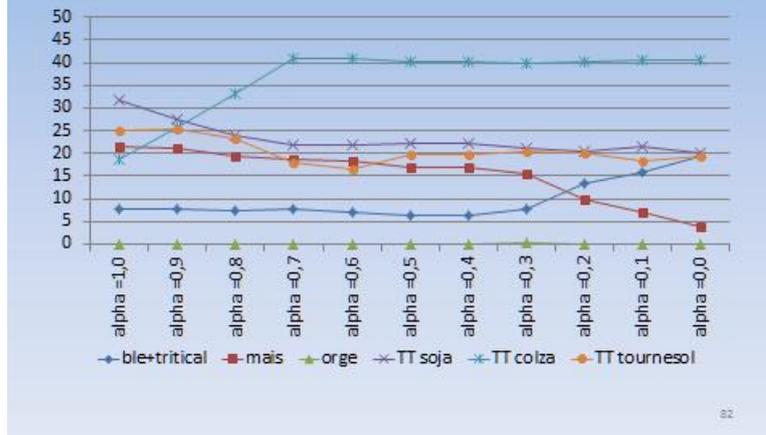


Alors que le prix augmente au final de 5.2%, les quatre indicateurs environnementaux principaux s'inscrivent tous à la baisse : TECOT -17,0%, CUMULEN -10.8%, GESLUC -9.8% et même LANDOC, contrairement aux autres espèces, diminue au final de 3.2% après avoir diminué d'un maximum de 8.2% quand $\alpha=0.6$.



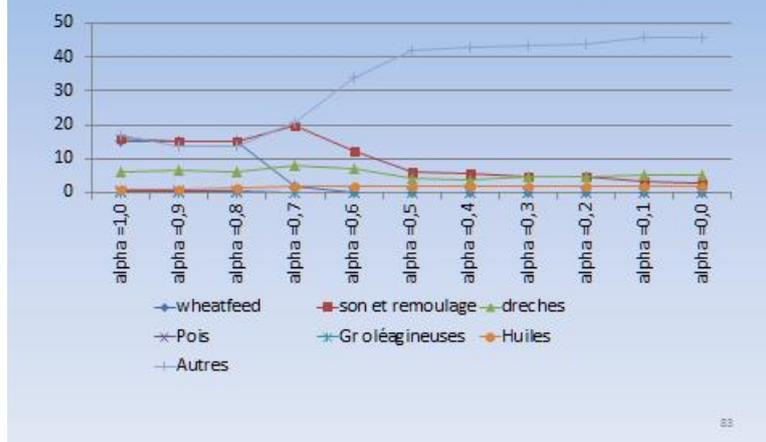
Pour les quatre autres indicateurs, seul ENTOT s'inscrit à la baisse -14.4%. Alors que GES, contrairement à GESLUC, connaît une légère progression +1.1%, ACID connaît une progression nette +4.6% ainsi que EUTRO +5.2%. Ainsi les effets d'« entrainement positif » qui existaient généralement pour GES, ACID et EUTRO dans les espèces précédentes ne se retrouvent pas pour l'ensemble des bovins, par contre, pour les bovins, on a une amélioration de LANDOC au lieu d'une dégradation.

Evolution des incorporations de MP dans les AC bovins(1) (kt)



Les substitutions entre céréales et tourteaux sont importantes et varient en intensité au cours des diminutions de α . De façon générale le blé remplace le maïs avec un tonnage qui augmente de 11 500 t (+150%) tandis que le maïs recule de 17 400 t (-82%). Le tourteau de soja voit son incorporation fortement diminuer (-11 700 t soit -37%) largement remplacé par du tourteau de colza (+22 200 t) qui fait plus que doubler. Le tourteau de tournesol régresse lui aussi (-23%).

Evolution des incorporations de MP dans les AC bovins (2) (kt)



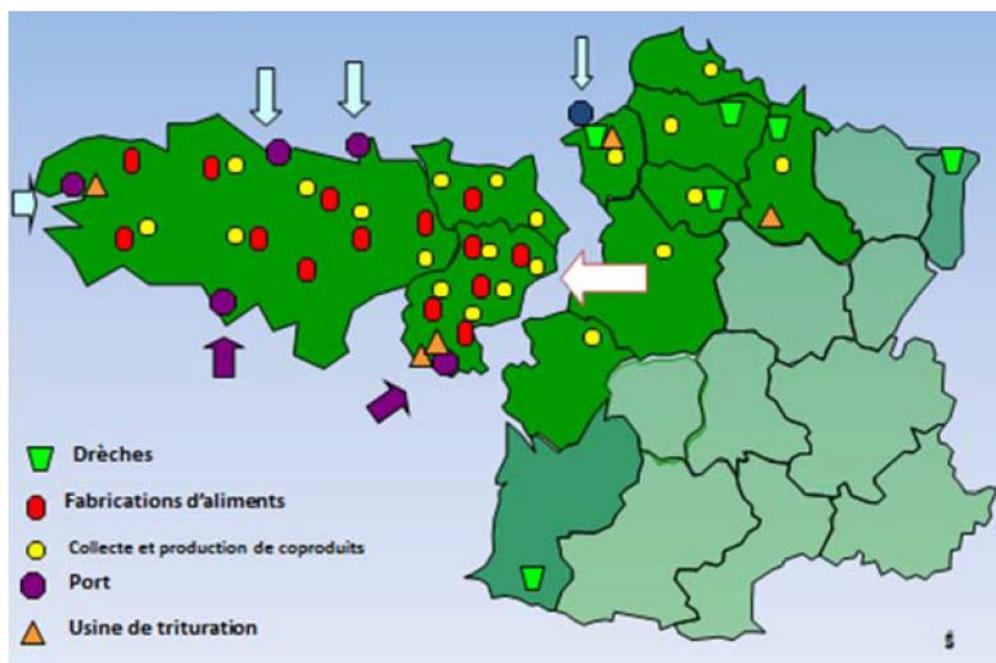
Parmi les autres matières premières, les évolutions sont extrêmement brutales. Le wheatfeed et le pois (qui était très faible dès l'origine) disparaissent, le son et remoulage recule de 82% et les drèches de 11%. Les huiles végétales progressent légèrement, mais c'est la catégorie « autres » avec +29 000 t qui augmente le plus. Cette hausse est presque totalement imputable au cgf, qui non utilisé à l'origine voit son tonnage atteindre plus de 26 000 t.

ANNEXE 5 : PRESENTATION DU MODELE FEEDSIM

Le modèle utilisé pour calculer les données de cadrage à l'échelle de la Bretagne et du Grand-ouest est un modèle logistico-nutritionnel basé sur la programmation linéaire qui permet de calculer les flux optimaux des diverses matières premières utilisées en Nutrition Animale entre :

- des zones de disponibilités situées principalement dans le Grand-ouest mais aussi dans quelques régions limitrophes ou traditionnelles en terme d'origine pour certaines matières premières (bassins de collecte, usines de trituration, d'amidonnerie, d'éthanolerie, etc., des ports maritimes régionaux)
- et des zones de demande de matières premières qui sont constituées :
 - o principalement des usines de production d'aliments composés industriels (FAB),
 - o des zones d'achat de tourteaux et autres matières premières protéiques pour la « fabrication à la ferme » (FAF) qui comprend à la fois une part de l'alimentation des porcins et une part de l'alimentation des bovins,
 - o les usines de production de coproduits utilisées en aliments composés (graines oléagineuses pour la trituration régionale, blé et maïs pour l'amidonnerie et l'éthanolerie, blé pour la meunerie). Toutes les matières premières peuvent être a priori transportées à l'intérieur de la France par route ou fer (sous réserve d'existence d'embranchement ferroviaire).

Figure 107 : Modèle Feedsim



En ce qui concerne les usines représentatives des productions régionales d'aliments composés, les tonnages fabriqués de chaque type d'aliments composés sont fixés de façon exogène à partir des statistiques disponibles au niveau de NUTRINOE ou des syndicats nationaux (Coop de France Nutrition Animale et SNIA) ainsi que les contraintes nutritionnelles de chaque type d'aliments composés et les contraintes minimum et maximum d'incorporation de certaines matières premières ou certains groupes de matières premières.

Les différents flux routiers et ferroviaires entre toutes les zones de disponibilité et toutes les zones de demande sont calculés pour chaque matière première dans le programme écrit en GAMS par le solveur CPLEX par minimisation sous contraintes d'une fonction objectif. De façon générale cette fonction objectif correspond au coût global d'approvisionnement du Grand-ouest (somme des

multiplications de chaque flux multiplié par le prix départ de chaque matière première depuis chaque zone augmenté du coût de transport fer ou route entre l'origine et la destination).

La formulation avec pour fonction le coût global d'approvisionnement est en particulier celle retenue dans le cadre du Baromètre mensuel élaboré par FEEDSIM depuis 8 ans. D'autres fonctions sont disponibles pour des analyses spécifiques (fonction multiobjectifs, fonction indicateur(s) environnemental).

A partir des différents flux, de nombreux autres résultats synthétiques sont également calculés en routine par le modèle. Il s'agit notamment pour chaque type d'aliments composés dans chaque usine représentative, du coût matière, de la composition nutritionnelle (teneur en protéines, acides aminés digestibles, énergie, etc..) et de la composition en matières premières (taux d'incorporation de chaque produit). Toutes les valeurs duales des diverses contraintes (nutritionnelles et disponibilités en particulier) sont également calculées.

De façon plus agrégée à partir des chiffres précédents sont calculés notamment les consommations de chaque matière première par usine représentative et par région, les tonnages de matières premières provenant de chaque origine (en particulier usine et port) et le mode de transport, etc.

ANNEXE 6 : Présentation de CAP'2ER, l'outil d'évaluation environnementale et d'aide à la décision en élevage de ruminants

Afin de préciser les interactions entre un élevage et l'environnement et d'engager des démarches de progrès avec les éleveurs, les filières d'élevage de ruminants ont développé un d'outil d'évaluation et d'appui technique, CAP'2ER.

Les objectifs de CAP'2ER

CAP'2ER (Calcul Automatisé des Performances Environnementales en Elevage de ruminants) a pour objectif d'évaluer les impacts environnementaux à l'échelle d'une exploitation d'élevage de ruminants et par atelier (bovin lait, bovin viande, ovin viande).

CAP'2ER vise à :

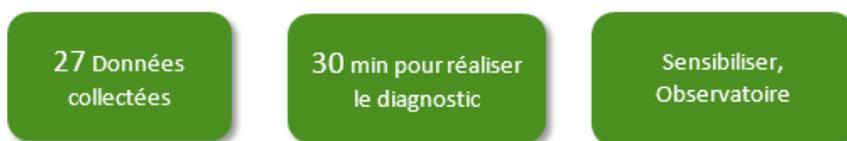
- Sensibiliser les éleveurs et les conseillers à la prise en compte des enjeux environnementaux (positifs et négatifs) mais également économiques et sociaux,
- Evaluer l'empreinte environnementale des produits des élevages de ruminants (lait, viande),
- Situer les exploitations par rapport à des références ou à un groupe d'exploitations, et créer un observatoire national,
- Faire le lien entre les performances environnementales, techniques et économiques,
- Identifier les marges de progrès et mettre en place des actions pour améliorer l'empreinte environnementale des exploitations tout en assurant leur pérennité.



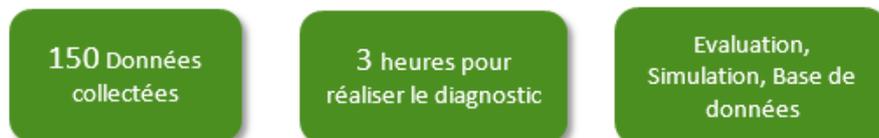
CAP'2ER, un outil à deux niveaux

CAP'2ER se présente sous deux niveaux :

- **CAP'2ER Niveau 1 pour sensibiliser** : Un outil pédagogique à destination du grand public, des étudiants, des éleveurs et des conseillers dont l'objectif est de sensibiliser et de réaliser une première évaluation rapide des performances environnementales,



- **CAP'2ER Niveau 2 pour agir** : Un outil d'aide à la décision destiné aux conseillers/techniciens dont l'objectif est de réaliser une évaluation fine de l'empreinte environnementale, d'identifier des marges de progrès et de construire un plan d'actions.



CAP'2ER, un outil multicritère pour évaluer la durabilité des exploitations d'élevage de ruminants

Au-delà de l'enjeu représenté par le changement climatique, CAP'2ER intègre les autres indicateurs environnementaux afin de mieux cerner les autres impacts potentiels sur l'environnement et la durabilité des exploitations.

Tableau 64 : impacts environnementaux évalués dans CAP'2ER

			
Changement climatique	Qualité de l'eau (eutrophisation)	Qualité de l'air (acidification)	Epuisement des ressources fossiles
Kg CH ₄ , kg N ₂ O, kg CO ₂ → Kg CO ₂ eq	Kg N lessivé, kg P ruisselé → kg PO ₄	Kg NH ₃ volatilisé → kg SO ₂	Energie directe et indirecte → MJ

L'évaluation environnementale est complétée par des indicateurs traduisant les contributions positives de l'activité d'élevage sur la biodiversité et le stockage de carbone, mais également par un indicateur de performance nourricière (PerfAlim) traduisant la fonction première de l'activité agricole.

De manière à apprécier la durabilité des exploitations, des indicateurs économiques et de conditions de travail viennent compléter le jeu des indicateurs environnementaux. Cette dimension vise à intégrer l'évaluation de la triple performance économique, sociale et environnementale de manière à construire des plans d'action en cohérence avec la durabilité des exploitations d'élevage de ruminants à moyen et long terme.

Tableau 65 : Contributions positives et durabilité des exploitations évaluées dans CAP'2ER

				
Maintien de la biodiversité	Stockage de carbone	Performance nourricière	Performance économique	Conditions de travail
ha eq de biodiversité	kg carbone / an	Nbre de personnes nourries / an	Coût de production, EBE/produit brut,...	Quantité de travail, pénibilité

CAP'2ER, des indicateurs de pratiques pour construire des plans d'actions

Aussi indispensables soient-ils pour qualifier les performances d'un élevage, les indicateurs environnementaux et de durabilité doivent être reliés à des indicateurs de pratiques utilisés quotidiennement par les éleveurs et les techniciens.

En évaluant en parallèle les deux types d'indicateurs, CAP'2ER permet ainsi de mettre en avant les pratiques qui doivent évoluer de manière à améliorer les performances techniques d'un élevage et les performances environnementales. Ces indicateurs, qui concernent la gestion du troupeau, l'alimentation, la fertilisation et valorisation des déjections, sont communément mobilisés dans le cadre des missions de conseil assurées auprès des éleveurs.

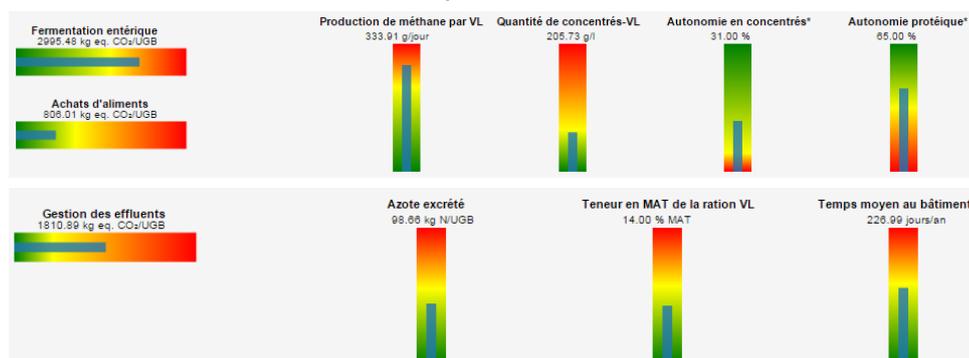


Figure 108 : Lien entre environnement et pratiques - exemples de la fermentation entérique/achats d'aliments et de la gestion des effluents

L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale, l'agence met à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, ses capacités d'expertise et de conseil. Elle aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie et du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.



ADEME
20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

www.ademe.fr