

Faculté des bioingénieurs

Évaluation de la vulnérabilité des systèmes agraires face aux retombées de téphra

Cas d'étude : Volcan Mayon, Philippines

Auteur
Promoteurs

Clara Mariage
Pierre Delmelle (SST/ELI/ELIE)
Sophie Malherbe (SST/ELI/ELIE)
Pierre Bertin (SST/ELI/ELIE)
Fabien Stark (INRAE-UMR SELMET)

Lecteurs

Année académique 2023-2024

Mémoire de fin d'études présenté en vue de l'obtention du diplôme de
bioingénieur en sciences agronomiques

Remerciements

Premièrement, je souhaite remercier le Professeur Pierre Delmelle de m'avoir permis de travailler sur un sujet aussi intéressant et de m'avoir accordé son temps pour me guider et me conseiller. Merci également pour ses précieuses corrections.

Je voudrais remercier particulièrement Sophie Malherbe pour sa disponibilité, ses feedbacks détaillés et ses réponses. Merci Sophie pour tes nombreuses relectures, tes précieux conseils et tes encouragements qui ont rendu ce travail agréable et moins stressant.

Je remercie également Fabien Stark de m'avoir apporté son expérience et des explications supplémentaires sur son travail. Merci également à Benoît Pereira pour ses conseils dans la réalisation du code R.

Je remercie également Noa Ligot, Sophie Malherbe et toutes les personnes qui ont permis la récolte des données sur le terrain. Sans quoi, mon travail n'aurait pas été réalisable.

Merci au professeur Pierre Bertin et à Fabien Stark d'avoir accepté d'être membres de mon jury en tant que lecteurs.

Merci à mes parents qui m'ont permis de venir à bout de ses études universitaires, en les finançant, en étant à mes côtés dans les périodes de stress mais également en prenant le temps de relire ce travail.

Merci aux Mag's d'avoir été de si bonnes camarades de travail. Merci à Vianney pour son soutien et sa présence. Merci à ma famille et mes amis d'avoir été toujours si encourageants et positifs.

Table des matières

Remerciements	I
1. Introduction	1
2. Etat de l'art	2
2.1 Le volcanisme	2
2.1.1 Les éruptions volcaniques	2
2.1.2 Le téphra	4
2.2 Les régions volcaniques	7
2.2.1 Les sols volcaniques	7
2.2.2 Densité de population des régions volcaniques	8
2.3 Les systèmes agraires et leur classification	9
2.4 Les impact immédiats des retombées de téphra sur l'agriculture.....	11
2.4.1 L'impact du téphra sur le sol.....	11
2.4.2 L'impact du téphra sur les cultures.....	12
2.4.3 L'impact sur le bétail	13
2.5 La vulnérabilité	14
2.5.1 Les fonctions de fragilité et de vulnérabilité	14
2.5.2 La vulnérabilité dans le cadre d'une évaluation de risque	16
3 Objectif de l'étude.....	17
4 Matériel et méthodes	18
4.1 Collecte des données.....	18
4.1.1 Le volcan Mayon et sa région	18
4.1.2 Méthode de recherche d'informations	19
4.2 Analyse des réseaux écologiques	20
4.2.1 Modèles conceptuels	21
4.3 Analyse économique des exploitations	23
4.4 Détermination des pertes subies par les exploitations en cas d'un dépôt de téphra ...	24
4.4.1 Détermination des coefficients de pertes sur les productions.....	25
4.4.2 Détermination des coefficients de saisonnalité	27
4.4.3 Détermination des pertes sur les actifs	30
5. Résultats.....	32
5.1 Exploitation n°1.....	32

5.1.1 Description du système agraire sans dépôts de téphra	32
5.1.2 Détermination des pertes directes sur les productions pour des dépôts de téphra d'épaisseur de 5 et 50 mm.....	34
5.1.3 Détermination des pertes d'actifs	36
5.1.4 Détermination qualitative des coûts secondaires engendrés par les pertes de productions.....	36
5.2 Exploitation n°2.....	37
5.2.1 Description du système agraire sans dépôts de téphra	37
5.2.2 Détermination des pertes directes sur les productions pour des dépôts de téphra d'épaisseur de 5 et 50 mm.....	38
5.2.3 Détermination des pertes d'actifs	40
5.2.4 Détermination qualitative des coûts secondaires engendrés par les pertes de productions.....	40
5.3 Exploitation n°3.....	40
5.3.1 Description du système agraire sans dépôts de téphra	40
5.3.2 Détermination des pertes directes sur les productions pour des dépôts de téphra d'épaisseur de 5 et 50 mm.....	42
5.3.3 Détermination des pertes d'actifs	44
5.3.4 Détermination qualitative des coûts secondaires engendrés par les pertes de productions.....	44
5.4 Exploitation n°4.....	45
5.4.1 Description du système agraire sans dépôts de téphra	45
5.4.2 Détermination des pertes directes sur les productions pour des dépôts de téphra d'épaisseur de 5 et 50 mm.....	47
5.4.3 Détermination des pertes d'actifs	48
5.4.4 Détermination qualitative des coûts secondaires engendrés par les pertes de productions.....	48
5.5 Exploitation n°5.....	49
5.5.1 Description du système agraire sans dépôts de téphra	49
5.5.2 Détermination des pertes directes sur les productions pour des dépôts de téphra d'épaisseur de 5 et 50 mm.....	50
5.5.3 Détermination des pertes d'actifs	52
5.5.4 Détermination qualitative des coûts secondaires engendrés par les pertes de productions.....	52
5.6 Exploitation n°6.....	53
5.6.1 Description du système agraire sans dépôts de téphra	53

5.6.2 Détermination des pertes directes sur les productions pour des dépôts de téphra d'épaisseur de 5 et 50 mm.....	54
5.6.3 Détermination des pertes d'actifs	56
5.6.4 Détermination qualitative des coûts secondaires engendrés par les pertes de productions.....	56
5.7 Exploitation n°7	57
5.7.1 Description du système agraire sans dépôts de téphra	57
5.7.2 Détermination des pertes directes sur les productions pour des dépôts de téphra d'épaisseur de 5 et 50 mm.....	58
5.7.3 Détermination des pertes d'actifs	60
5.7.4 Détermination qualitative des coûts secondaires engendrés par les pertes de productions.....	60
5.8 Exploitation n°8	60
5.8.1 Description du système agraire sans dépôts de téphra	60
5.8.2 Détermination des pertes directes sur les productions pour des dépôts de téphra d'épaisseur de 5 et 50 mm.....	63
5.8.3 Détermination des pertes d'actifs	64
5.8.4 Détermination qualitative des coûts secondaires engendrés par les pertes de productions.....	64
6. Discussion	65
6.1 Interprétation des résultats.....	65
6.1.1 Exploitation n°1.....	65
6.1.2 Exploitation n°2.....	66
6.1.3 Exploitation n°3.....	66
6.1.4 Exploitation n°4.....	67
6.1.5 Exploitation n°5.....	68
6.1.6 Exploitation n°6.....	68
6.1.7 Exploitation n°7.....	69
6.1.8 Exploitation n°8.....	70
6.2 Comparaison des résultats obtenus pour les huit fermes	70
6.3 Le caractère intrinsèque de la vulnérabilité des systèmes agraires de la région étudiée	71
6.4 La vulnérabilité des systèmes agraires face aux retombées de téphra et l'intégration agriculture-élevage.....	72
6.5 Limites de l'analyse et perspectives d'amélioration	73

7. Conclusion	75
Références bibliographiques.....	76
Annexes.....	82
A. Questionnaire utilisé lors des interviews.....	82
B. Fonctions de fragilité utilisées pour la détermination des coefficients.....	94
C. Modèles conceptuels des exploitations agricoles.....	97
D. Calendriers de cultures	105
E. Tableaux de pertes sur les productions des huit exploitations	109
F. Pourcentages de pertes des différentes productions sous un dépôt de 50 mm.....	121
G. Unité tropicale d'élevage, Tropical Livestock Unit (=TLU)	124

Liste des figures

<i>Figure 1 - Schématisation d'une éruption explosive (à gauche) et d'une éruption effusive (à droite) ("Les volcans effusifs et explosifs - L'Esprit Sorcier Officiel," 2020)</i>	<i>3</i>
Figure 2 - Schéma de l'ascension de la colonne éruptive dans le cas d'un panache fort (A) et d'un panache faible (B). (Bonadonna et al., 2015).....	6
Figure 3 - Carte représentant les isopaques de dépôts de téphra lors de l'éruption du volcan Taal en janvier 2020 (Balangue-Tarriela et al., 2022)	7
Figure 4 – Distribution globale des volcans de l'Holocène et densité de population globale (Marlon Calispa).	8
Figure 5- Schématisation d'un système agraire adaptée de Dixon et al., 2001	10
Figure 6 - Catégories de systèmes agraires définies par la FAO selon la dotation en ressources et l'accès aux services agricoles	11
Figure 7 - Dommages causés par des aérosols acides sur des plants de piments (a) et de tomates (b) après l'éruption du volcan Merapi en 2006 (Wilson et al., 2007).	13
Figure 8 - Fonctions de fragilité de fruits non arboricoles et d'arbres à fruits (Craig et al., 2021).	15
Figure 9 - Fonctions de vulnérabilité de l'agriculture pastorale (Wilson et Kaye, 2007).....	15
Figure 10 - Localisation du volcan Mayon dans la province d'Albay et sur l'île de Luçon (Martinez-Villegas et al., 2021)	18
Figure 11 - Carte représentant le sommet du volcan Mayon et les trois villages dans lesquels les interviews ont été réalisées	20
Figure 12 - Système agraire-type représentant les différents éléments du système, leurs interactions, et les interactions du système avec l'extérieur, adapté de Donfut (2022).....	22
Figure 13 - Exemple d'application du logiciel Gephi dans le domaine médical. Représentation du cerveau moyen d'un groupe homogène d'individus atteints du syndrome de la délétion 22q11.2 (sous-type génétique de la schizophrénie)	23
Figure 14 - Modèle conceptuel de l'exploitation n°1 réalisé sur le logiciel Gephi	32
Figure 15 - Pertes de valeur fictive [PHP] sous des dépôts de téphra de 5 et 50 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°1	35
Figure 16 - Parts de chaque production dans la perte de valeur fictive brute totale sous 5 mm aux mois de mars et d'avril (a) et aux mois de mai et juin (b) pour l'exploitation n°1	35
Figure 17 - Modèle conceptuel de l'exploitation n°2 réalisé sur le logiciel Gephi	37
Figure 18 - Pertes de revenus bruts [PHP] de l'exploitation n°2 en fonction du mois de l'année et de l'épaisseur de téphra.....	39
Figure 19 - Parts des pertes de revenus bruts générées par les productions sous 5 mm au mois de septembre (a) et aux mois d'avril et de mai (b) pour l'exploitation n°2	40
Figure 20 - Modèle conceptuel de l'exploitation n°3 réalisé sur le logiciel Gephi	41
Figure 21 - Pertes de revenus bruts [PHP] de l'exploitation n°3 en fonction du mois de l'année et de l'épaisseur de téphra.....	43
Figure 22 - Parts des pertes de revenus bruts des différentes productions sous 5mm de téphra au mois de février (a) et au mois de novembre (b).....	44
Figure 23 - Modèle conceptuel de l'exploitation n°4 réalisé sur le logiciel Gephi	45

Figure 24 - Pertes de revenus [PHP] de l'exploitation n°4 en fonction du mois de l'année et de l'épaisseur de téphra	47
Figure 25 - Parts des productions dans la perte de revenus bruts de l'exploitation n°4 sous 5 mm au mois de novembre (a) et au mois de janvier (b)	48
Figure 26 - Modèle conceptuel de l'exploitation n°5 réalisé sur le logiciel Gephi	49
Figure 27 - Pertes de revenus [PHP] de l'exploitation n°5 en fonction du mois de l'année et de l'épaisseur du dépôt de téphra	51
Figure 28 - Parts des différentes productions dans la perte de revenus bruts totale sous 5 mm pour le mois de février à juin (a) et les mois d'août à janvier (b).....	52
Figure 29 - Modèle conceptuel de l'exploitation n°6 réalisé sur le logiciel Gephi	53
Figure 30 - Pertes de revenus bruts [PHP] pour l'exploitation n°6 en fonction du mois de l'année et de l'épaisseur de téphra.....	55
Figure 31 - Parts des productions dans la perte de revenus bruts totale sous 5 mm pour le mois de mars (a) et les mois d'avril et juillet (b)	56
Figure 32 - Modèle conceptuel de l'exploitation n°7 réalisé sur le logiciel Gephi	57
Figure 33 - Pertes de revenus bruts [PHP] de l'exploitation n°7 en fonction du mois de l'année et de l'épaisseur de téphra.....	59
Figure 34 - Parts des productions dans la perte de revenus bruts totale de l'exploitation n°7 aux mois d'août et septembre	60
Figure 35 - Modèle conceptuel de l'exploitation n°8 réalisé sur le logiciel Gephi	61
Figure 36 - Pertes de revenus bruts [PHP] de l'exploitation n°8 en fonction du mois de l'année et de l'épaisseur de téphra.....	63
Figure 37 - Parts des différentes productions dans la perte de revenus bruts totale sous 5 mm au mois de mars (a) et au mois de novembre (b) pour l'exploitation n°8	64
Figure 38 - Pourcentages de pertes de l'horticulture en fonction de l'épaisseur de dépôts de téphra (Wilson et Kaye, 2007)	94
Figure 39 - Pourcentages de pertes de l'agriculture pastorale en fonction de l'épaisseur de dépôts de cendres (Wilson et Kaye, 2007).....	94
Figure 40 - Fonctions de fragilité pour le riz (Craig et al., 2021)	95
Figure 41 - Fonctions de fragilité pour les céréales et la viticulture (Craig et al., 2021).....	95
Figure 42 - Etats d'impact liés aux fonctions de fragilité de l'horticulture (Craig et al., 2021)	96
Figure 43 - Modèle conceptuel de l'exploitation n°1 réalisé sur PowerPoint.....	97
Figure 44 - Modèle conceptuel de l'exploitation n°2 réalisé sur PowerPoint	98
Figure 45 - Modèle conceptuel de l'exploitation n°3 réalisé sur PowerPoint.....	99
Figure 46 - Modèle conceptuel de l'exploitation n° 4 réalisé sur PowerPoint	100
Figure 47 - Modèle conceptuel de l'exploitation n°5 réalisé sur PowerPoint.....	101
Figure 48 - Modèle conceptuel de l'exploitation n°6 réalisé sur PowerPoint.....	102
Figure 49 - Modèle conceptuel de l'exploitation n°7 réalisé sur Powerpoint.....	103
Figure 50 - Modèle conceptuel de l'exploitation n°8 réalisé sur PowerPoint.....	104
Figure 51 - Calendriers des cultures arboricoles continues pour les huit exploitations	105
Figure 52 - Calendriers des cultures arboricoles à une saison pour les huit exploitations....	105
Figure 53 - Calendriers des légumes à fruits à une seule saison pour les huit exploitations.	106
Figure 54 - Calendriers des légumes à fruits à plusieurs récoltes des huit exploitations	106
Figure 55 - Calendriers des légumes à racines des huit exploitations	107

Figure 56 - Calendriers des cultures de riz pour les huit exploitations	107
Figure 57 - Calendrier du maïs pour les exploitations n°2 et 6	108
Figure 58 - Calendriers des légumes à feuilles pour les huit exploitations	108
Figure 59 - Répartition des pourcentages de perte de revenus des productions de l'exploitation n°3 sous 50 mm de téphra pour le mois de février (a) et de novembre (b)	121
Figure 60 - Répartition des pourcentages de perte de revenus des productions de l'exploitation n°2 sous 50 mm de téphra pour le mois de septembre (a) et les mois d'avril et de mai (b) .	121
Figure 61 - Répartition des pourcentages de perte de valeur fictive des productions de l'exploitation n°1 sous 50mm au mois de mars et avril (a) et au mois de décembre (b)	121
Figure 62 - Répartition des pourcentages de perte de revenus des productions de l'exploitation n°4 sous 50 mm de téphra pour le mois de novembre (a) et de janvier (b)	122
Figure 64 - Répartition des pourcentages de perte de revenus des productions de l'exploitation n°5 sous 50 mm de téphra pour les mois de février à juin (a) et d'août à janvier (b)	122
Figure 63 - Parts des pourcentages de pertes de revenus bruts des productions de l'exploitation n°6 sous 50 mm de téphra pour les mois de novembre (a) et de avril et juillet(b)	122
Figure 65 - Parts des pourcentages de pertes de revenus bruts des productions de l'exploitation n°8 sous 50 mm de téphra pour les mois de septembre (a) et de novembre (b)	123
Figure 66 - Parts des pourcentages de pertes de revenus bruts des productions de l'exploitation n°7 sous 50 mm de téphra pour les mois d'août et de septembre	123

Liste des tableaux

Tableau 1 - Caractérisation des éruptions volcaniques en fonction de l'index d'explosivité (VEI) (adapté de Loughlin et al., 2015 et Newhall and Self, 1982)	3
Tableau 2 - Classification des types de téphra en fonction de la granulométrie	4
Tableau 3 - Classification des produits de la production agricole néo-zélandaise adapté de Wilson et Kaye, 2007	25
Tableau 4 - Coefficients de pertes de productions des différents secteurs agricoles adaptés de la littérature.....	26
Tableau 5 - Coefficients de saisonnalité choisis à partir de la littérature.....	28
Tableau 6 - Coefficients de pertes sur les actifs et temps de renouvellement des cultures pérennes retrouvées dans les exploitations étudiées.....	31
Tableau 7 - Résumé des productions (en kg/an et PHP/an) annuelles de l'exploitation n°1, ainsi que leurs coûts et revenus associés. Sont également présentés le pourcentage des coûts totaux que chaque activité représente.....	33
Tableau 8 - Récapitulatif de la situation économique du ménage de l'exploitation n°1 sur une année.....	34
Tableau 9 - Résumé des productions (en kg/an et PHP/an) annuelles de l'exploitation n°2, ainsi que leurs coûts et revenus associés. Sont également présentés le pourcentage des coûts totaux et des revenus bruts et nets que chaque production représente.....	38
Tableau 10 - Récapitulatif économique de la situation du ménage de l'exploitation n°2 sur une année.....	38
Tableau 11 - Résumé des productions (en kg/an et PHP/an) annuelles de l'exploitation n°3, ainsi que leurs coûts et revenus associés. Sont également présentés le pourcentage des revenus bruts et nets et des coûts totaux que chaque production représente.....	42
Tableau 12 - Récapitulatif de la situation économique du ménage de l'exploitation n°3 sur une année.....	42
Tableau 13 - Résumé des productions (en kg/an et PHP/an) annuelles de l'exploitation n°4, ainsi que leurs coûts et revenus associés. Sont également présentés le pourcentage des revenus bruts et nets et des coûts totaux que chaque production représente.....	46
Tableau 14 - Récapitulatif de la situation économique du ménage de l'exploitation n°4 sur une année.....	46
Tableau 15 - Résumé des productions (en kg/an et PHP/an) annuelles de l'exploitation n°5, ainsi que leurs coûts et revenus associés. Sont également présentés le pourcentage des revenus bruts et nets et des coûts totaux que chaque production représente.....	50
Tableau 16 - Récapitulatif de la situation économique du ménage de l'exploitation n°5 sur une année.....	50
Tableau 17 - Résumé des productions (en kg/an et PHP/an) annuelles de l'exploitation n°6, ainsi que leurs coûts et revenus associés. Sont également présentés le pourcentage des revenus bruts et nets et des coûts totaux que chaque production représente.....	54
Tableau 18 - Récapitulatif de la situation économique du ménage de l'exploitation n°6 sur une année.....	54

Tableau 19 - Résumé des productions (en kg/an et PHP/an) annuelles de l'exploitation n°7, ainsi que leurs coûts et revenus associés. Sont également présentés le pourcentage des revenus bruts et nets et des coûts totaux que chaque production représente.....	58
Tableau 20 - Récapitulatif économique de la situation économique du ménage de l'exploitation n°7 sur une année	58
Tableau 21 - Résumé des productions (en kg/an et PHP/an) annuelles de l'exploitation n°8, ainsi que leurs coûts et revenus associés. Sont également présentés le pourcentage des revenus bruts et nets des coûts totaux que chaque production représente.....	62
Tableau 22 - Récapitulatif de la situation économique du ménage de l'exploitation n°8 sur une année	62
Tableau 23 - Tableau comparatif des huit exploitations.....	71
Tableau 24 - Coefficients de saisonnalité pour le riz au stade juvénile et au stade mature en fonction de l'épaisseur du dépôt de téphra (Craig et al., 2021)	95
Tableau 25 - Pertes de valeur fictive brute [PHP] sous 5mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°1.....	109
Tableau 26 - Pertes de valeur fictive brute [PHP] sous 50mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°1.....	109
Tableau 27 - Pertes de revenus bruts [PHP] sous 5mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°1	109
Tableau 28 - Pertes de revenus bruts [PHP] sous 50mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°1	109
Tableau 29 - Pertes des différentes productions [kg] sous 5mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°1.....	110
Tableau 30 - Pertes des différentes productions [kg] sous 50mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°1.....	110
Tableau 31 - Pertes de valeur fictive brute [PHP] sous 5mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°2.....	110
Tableau 32 - Pertes de valeur fictive brute [PHP] sous 50mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°2.....	110
Tableau 33 - Pertes de revenus bruts [PHP] sous 5 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°2	111
Tableau 34 - Pertes de revenus bruts [PHP] sous 50 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°2	111
Tableau 35 - Pertes des différentes productions [kg] sous 5mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°2.....	111
Tableau 38 - Pertes des différentes productions [kg] sous 50 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°2.....	112
Tableau 36 - Pertes de valeur fictive brute des productions [PHP] sous 5 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°3	112
Tableau 37 - Pertes de valeur fictive brute des productions [PHP] sous 50 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°3	112
Tableau 39 - Pertes de revenus bruts [PHP] sous 5 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°3	112

Tableau 40 - Pertes de revenus bruts [PHP] sous 50 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°3	113
Tableau 41 - Pertes des différentes productions [kg] sous 5 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°3.....	113
Tableau 42 - Pertes des différentes productions [kg] sous 50 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°3.....	113
Tableau 43 - Pertes de valeur fictive brute [PHP] sous 5 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°4.....	113
Tableau 44 - Pertes de valeur fictive brute [PHP] sous 50 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°4.....	114
Tableau 45 - Pertes de revenus bruts [PHP] sous 5 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°4	114
Tableau 46 - Pertes de revenus bruts [PHP] sous 50 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°4	114
Tableau 47 - Pertes des différentes productions [kg] sous 5 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°4.....	115
Tableau 48 - Pertes des différentes productions [kg] sous 50 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°4.....	115
Tableau 49 - Pertes de valeur fictive brute [PHP] sous 5 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°5.....	115
Tableau 50 - Pertes de valeur fictive brute [PHP] sous 50 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°5.....	115
Tableau 51 - Pertes de revenus bruts [PHP] sous 5 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°5	116
Tableau 52 - Pertes de revenus bruts [PHP] sous 50 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°5	116
Tableau 53 - Pertes des différentes productions [kg] sous 5 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°5.....	116
Tableau 54 - Pertes des différentes productions [kg] sous 50 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°5.....	116
Tableau 55 - Pertes de valeur fictive brute [PHP] sous 5 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°6.....	116
Tableau 56 - Pertes de valeur fictive brute [PHP] sous 50 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°6.....	117
Tableau 57 - Pertes de revenus bruts [PHP] sous 5 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°6	117
Tableau 58 - Pertes de revenus bruts [PHP] sous 50 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°6	117
Tableau 59 - Pertes des différentes productions [kg] sous 5 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°6.....	117
Tableau 60 - Pertes des différentes productions [kg] sous 50 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°6.....	118
Tableau 61 - Pertes de revenus bruts [PHP] sous 50 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°7	118

Tableau 62 - Pertes de revenus bruts [PHP] sous 5 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°7	118
Tableau 63 - Pertes de valeur fictive brute [PHP] sous 50 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°7	118
Tableau 64 - Pertes de valeur fictive brute [PHP] sous 5 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°7	118
Tableau 65 - Pertes des différentes productions [kg] sous 50 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°7	119
Tableau 66 - Pertes des différentes productions [kg] sous 5 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°7	119
Tableau 67 - Pertes de valeur fictive brute [PHP] sous 5 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°8	119
Tableau 68 - Pertes de valeur fictive brute [PHP] sous 50 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°8	119
Tableau 69 - Pertes de revenus bruts [PHP] sous 5 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°8	120
Tableau 70 - Pertes de revenus bruts [PHP] sous 50 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°8	120
Tableau 71 - Pertes des différentes productions [kg] sous 5 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°8	120
Tableau 72 - Pertes des différentes productions [kg] sous 5 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°8	120
Tableau 73 - Facteurs de conversion de TLU pour différentes espèces d'élevage ("FAO Yearbook of Forest Products 1979," n.d.)	124

1. Introduction

La population mondiale vivant à moins de 100 km d'un volcan actif est estimée à 800 millions de personnes et ce chiffre continue d'évoluer avec l'augmentation de la population (Loughlin et al., 2015). Les régions volcaniques sont donc densément peuplées. Alors que les sols volcaniques ne représentent qu'environ 1% de la surface de la terre, ils nourrissent au moins 10% de la population mondiale (Delmelle et al., 2015). L'agriculture est une des principales activités économiques dans ces régions et elle assure la sécurité alimentaire aux échelles locale et régionale (FAO, 2021). Ceci est notamment dû au fait que la proximité avec un volcan confère aux sols des propriétés uniques qui les rendent fertiles et propices à l'agriculture (Loughlin et al., 2015).

Cependant, la proximité avec un volcan expose les populations et leurs activités au risque de retombées de téphra. Le téphra désigne les débris pyroclastiques créés lors d'une éruption explosive. Ces particules de taille et de composition variables sont éjectées et dispersées dans l'atmosphère. Lorsqu'elles retombent au sol, après sédimentation, elles peuvent avoir un impact sur des dizaines voire des centaines de milliers de km² autour du volcan. Le téphra peut affecter les infrastructures, nuire à la santé humaine et impacter les sols, les plantes et les animaux (Ayris and Delmelle, 2012). Les éruptions volcaniques peuvent donc mettre en péril la sécurité alimentaire aux échelles locale et régionale en diminuant les rendements des diverses productions agricoles. Ce problème est d'autant plus vrai dans les régions volcaniques des pays en développement où les revenus des populations dépendent encore majoritairement de l'agriculture (UNESCO, 2003).

Aujourd'hui, la vulnérabilité des cultures et des animaux face aux retombées de téphra est étudiée mais les résultats se résument à des preuves circonstanciées et à un petit nombre d'enquêtes post-éruptives (Blake et al., 2015; Craig et al., 2016a, 2021; T. Wilson et al., 2011; Wilson and Kaye, 2007). Celles-ci se contentent d'étudier la vulnérabilité des éléments agricoles (élevage, cultures, infrastructures, etc.) de manière isolée. Cependant, de nombreuses interactions entre les composantes d'une exploitation agricole découlent des échanges de matière qui se produisent à l'intérieur de celle-ci. Or, ceci est très peu documenté dans la littérature. Ce travail propose donc d'envisager la vulnérabilité des exploitations agricoles face aux retombées de téphra en utilisant le concept de système agraire. Le système agraire est défini par la FAO comme l'ensemble qui comprend le ménage, ses ressources, ainsi que les flux de ressources et les interactions au niveau de l'exploitation individuelle (Dixon et al., 2001).

Ce mémoire vise à apporter de nouvelles connaissances sur la vulnérabilité des exploitations agricoles à proximité des volcans afin d'améliorer notre compréhension des facteurs qui la contrôlent. Il s'inscrit dans la volonté de développer des stratégies de réduction du risque adéquates. Nous espérons également démontrer la pertinence d'aborder cette problématique sous la forme d'une approche systémique. Pour ce faire, nous travaillons sur huit exploitations agricoles se situant autour du volcan Mayon, dans la province d'Albay, aux Philippines.

2. Etat de l'art

2.1 Le volcanisme

2.1.1 Les éruptions volcaniques

Les éruptions volcaniques sont le résultat d'une remontée de magma, substance en fusion, en provenance du manteau et/ou de la croûte continentale ou océanique vers la surface. Cette remontée peut être causée par l'activité tectonique ou par la présence de points chauds. Le magma est majoritairement constitué de roches silicatées en fusion et de gaz dissous (principalement du CO_2 et de l'eau). En fonction de leur teneur en silice, on distingue le magma basaltique (45 à 55 %wt de SiO_2), le magma andésitique (55 à 65 %wt de SiO_2), le magma dacitique (65 à 70 %wt de SiO_2) et le magma rhyolitique (>70 %wt de SiO_2). En général, plus le magma possède une teneur en silice élevée, plus il est visqueux et plus il contient de gaz dissous (Keller et al., 2019; Rogers, 2015; Siebert et al., 2015).

Lors de la remontée vers la surface, la limite de solubilité des gaz dans le magma peut être atteinte provoquant l'apparition de bulles dans la phase liquide. Si la viscosité du magma ne lui permet pas de s'échapper passivement alors la pression interne générée par les bulles de gaz excède la pression de confinement. Ce phénomène est appelé la fragmentation du magma et est à l'origine des éruptions explosives magmatiques. Celles-ci constituent l'activité volcanique la plus puissante et destructive, car elles produisent de grandes quantités de pyroclastes projetés à haute température dans l'atmosphère avec les gaz. À l'inverse, les éruptions effusives impliquent l'écoulement de lave liquide et seront associées à des magmas aux teneurs en silice faibles et à une viscosité faible (Figure 1). Les éruptions volcaniques explosives sont donc à l'origine de la formation des cendres volcaniques (téphra < 2 mm) (Cashman and Sparks, 2013; Keller et al., 2019; Siebert et al., 2015).

On parle également d'éruptions phréatiques lorsque l'explosion est causée par la formation de vapeur (indépendamment de sa source) et sans implication de magma. Les éruptions phréatomagmatiques désignent les éruptions pour lesquelles il y a une interaction entre le magma et une source d'eau souterraine (Barberi et al., 1992; Valentine et al., 2014).

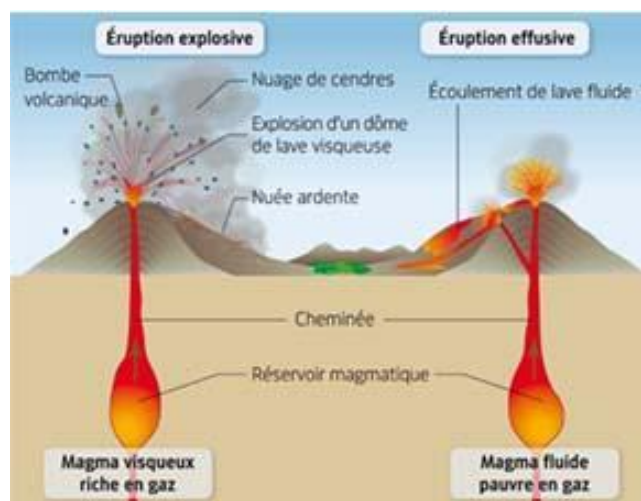


Figure 1 - Schématisation d'une éruption explosive (à gauche) et d'une éruption effusive (à droite) ("Les volcans effusifs et explosifs - L'Esprit Sorcier Officiel," 2020)

La classification des éruptions volcaniques en deux grandes catégories n'est pas suffisamment précise pour caractériser la large gamme d'éruptions observables sur terre. Newhall and Self (1982) ont développé l'index d'explosivité volcanique (VEI) qui permet de définir le caractère explosif d'une éruption (Tableau 1). Le VEI repose sur une échelle logarithmique de 0 à 8 pour décrire le volume de débris éjectés et la hauteur de la colonne du panache. Plus le VEI est élevé, plus l'éruption est puissante et plus la quantité de débris pyroclastiques éjectée sera élevée et plus leur dispersion est étendue. Le VEI peut aussi être mis en relation avec le type d'éruption (Loughlin et al., 2015; Newhall and Self, 1982; Pyle, 2015).

Tableau 1 - Caractérisation des éruptions volcaniques en fonction de l'index d'explosivité (VEI) (adapté de Loughlin et al., 2015 et Newhall and Self, 1982)

VEI	Description générale	Volume de téphra éjecté (km ³)	Hauteur du panache (km)	Type d'éruption	Fréquence
0	Non-explosive	<0,0001	<0,1	Hawaïenne	Fréquent
1	Petite	0,0001-0,001	0,1-1	Hawaïenne/Strombolienne	Fréquent
2	Modérée	0,001-0,01	1-5	Strombolienne/Vulcanienne	Dizaines/an
3	Modérée à large	0,01-0,1	3-15	Vulcanienne/ Péléenne	Plusieurs/an
4	Large	0,1-1	10-25	Péléenne/Plinienne	Dizaines/décennie
5	Très large	1-10	>25	Plinienne	Une/décennie
6	Très large	10-100	>25	Plinienne/ Ultra-plinienne	Plusieurs/siècle
7	Très large	100-1000	>25	Ultra-plinienne	Plusieurs/millénaire
8	Très large	>1000	>25	Ultra-plinienne	Deux/100 000 ans

2.1.2 Le téphra

2.1.2.1 Caractéristiques physiques et chimiques du téphra

Le terme "téphra" désigne tous les débris pyroclastiques (indépendamment de leur taille et de leur composition) qui ont été formés lors de la fragmentation, expulsés lors d'une éruption volcanique explosive et refroidis dans l'atmosphère. Les propriétés physiques et chimiques du téphra sont principalement déterminées par la chimie du magma et les conditions d'éruption. Il est pertinent de se pencher sur ces propriétés, car outre la quantité de téphra expulsée, elles jouent un rôle crucial dans la manière dont le téphra interagit avec son environnement (Ayris and Delmelle, 2012; Siebert et al., 2015; Wilson et al., 2015).

Les particules de téphra peuvent être classées en fonction de leur taille (Tableau 2). Les blocs et les bombes sont les particules les plus grandes et elles suivent des trajectoires balistiques qui sont confinées à un rayon de 5 km autour du volcan tandis que les lapillis et les cendres sont propulsées verticalement au sein de la colonne éruptive, puis éventuellement dispersées par les vents dominants. Plus la fragmentation est puissante, plus la production de téphra fins est élevée. On associe donc ceux-ci aux éruptions explosives siliceuses (Ayris and Delmelle, 2012; Tarasenko, 2018; Wilson et al., 2015). La taille des particules et leur densité permettent d'estimer le temps de résidence dans l'atmosphère ou dans l'eau. Elle contribue également à la détermination de la surface spécifique, laquelle influe sur le potentiel de réactivité chimique des particules. Une surface spécifique accrue signifie davantage de superficie disponible par unité de masse pour les interactions environnementales. (Ayris and Delmelle, 2012)

Tableau 2 - Classification des types de téphra en fonction de la granulométrie

Noms		Diamètre des particules
Blocs et bombes		>64 mm
Lapillis		2-64 mm
Cendres volcaniques	Grossières	100-2000 μm
	Fines	63-100 μm
	Très fines	<63 μm

La réactivité chimique du téphra dans l'environnement est également influencée par sa composition chimique et minéralogique globale. Ces propriétés varient en fonction de la nature du magma à l'origine de la production du téphra. En plus du verre volcanique qui constitue la matrice du téphra, on trouvera différents types de minéraux silicatés et des oxydes primaires. L'abondance de ces minéraux et leurs proportions dans les téphra sont fonction de

la teneur en silice du magma source et de son évolution au sein de la croûte terrestre. De manière générale, le verre et les minéraux sont peu solubles aux valeurs de pH habituellement rencontrées dans l'environnement (6 – 8). Dans certains cas, des minéraux magmatiques plus solubles comme l'anhydrite (CaSO_4) et la fluorapatite ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$) sont présents (Ayrès and Delmelle, 2012). Des sulfures de fer, comme la pyrrhotite et la pyrite, sont parfois associés au téphra. Dans les dépôts de téphra, ces minéraux peuvent subir une dissolution oxydative au contact de l'eau, générant ainsi de l'acide sulfurique.

La composition de surface du téphra influence aussi la réactivité chimique du téphra dans l'environnement. En effet, divers composés solubles sont présents sur les surfaces des particules. Ceux-ci correspondent essentiellement à des sels sulfatés et chlorés contenant du calcium, du sodium et du potassium. Des sels de fluor y sont aussi parfois associés. Les sels de sulfates et d'halogénures présents à la surface des particules sont le résultat de réactions au sein de la colonne éruptive/du panache volcanique entre ces dernières et les gaz et aérosols volcaniques. On notera que la surface spécifique des téphra, principalement conditionnée par la taille des particules, détermine aussi leur réactivité chimique dans l'environnement (Ayrès and Delmelle, 2012)

Les propriétés radiatives du téphra dépendent de sa couleur qui est elle-même déterminée par les propriétés d'absorbance des métaux de transition (principalement Ti et Fe). Le téphra de ratio Si/Fe faible sera associé à une coloration foncée. Au contraire un téphra avec un ratio Si/Fe élevé sera pâle et de coloration blanche puisqu'il réfléchit et transmet mieux la lumière visible. Certains types de téphra peuvent ainsi augmenter significativement l'albédo du sol (Ayrès and Delmelle, 2012).

Le temps de résidence des particules de téphra dans l'air et dans l'atmosphère dépend non seulement de leur taille, mais également de leur masse volumique. Le téphra qui a un contenu élevé en Fe/Ti possède une masse volumique plus élevée (entre 2400 et 3200 kg/m^3). Alors que le téphra qui possède un contenu plus élevé en silice aura une masse volumique plus faible (entre 2150 et 2600 kg/m^3) (Ayrès and Delmelle, 2012).

2.1.2.2 Panache volcanique, dispersion et dépôts de téphra

À la suite d'une éruption explosive, un mélange de particules volcaniques, de gaz et d'air entraîné est injecté dans l'atmosphère, c'est ce qu'on appelle le panache volcanique. Les panaches volcaniques varient en taille (local à continental) et en hauteur (jusqu'à 40 km de hauteur). La composition magmatique, la quantité et la nature des composants volatils, le débit de magma et la géométrie de l'orifice source influencent leur structure et leur comportement (Carey and Bursik, 2015).

Le panache finit par atteindre le niveau de flottaison neutre, lorsque sa densité équivaut à celle de l'atmosphère avoisinante, et commence à se déplacer latéralement. Si le ratio entre la vitesse des vents horizontaux et la vitesse d'élévation de la colonne éruptive est élevé alors le panache apparaîtra penché tandis que si ce ratio est faible alors il apparaîtra vertical (Figure 2). Le transport du nuage volcanique est alors majoritairement dû à l'advection du vent et à la turbulence atmosphérique. La distance et la direction vers laquelle le téphra sera transporté dépend de la vitesse et de la direction du vent et des conditions atmosphériques. Ces conditions peuvent varier avec le temps. De plus, les vents ne sont pas identiques lorsque l'on se déplace verticalement dans l'atmosphère. Ainsi, le moment de l'année et la hauteur de la colonne d'éruption détermineront en partie où les téphra seront dispersés (Bonadonna et al., 2015; Jenkins et al., 2015).

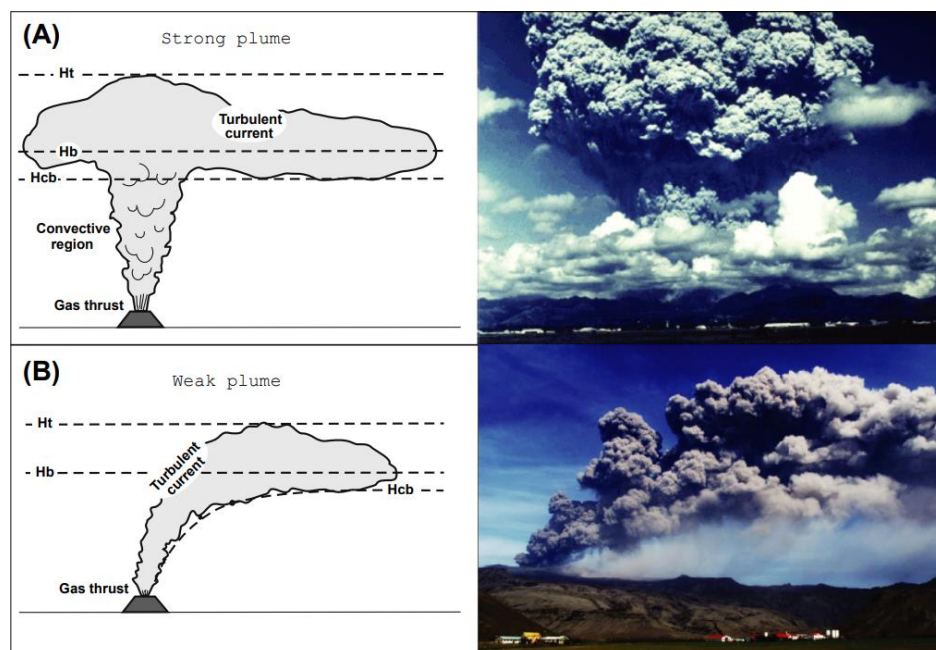


Figure 2 - Schéma de l'ascension de la colonne éruptive dans le cas d'un panache fort (A) et d'un panache faible (B). (Bonadonna et al., 2015)

Progressivement, le nuage sera dilué par l'air ambiant et par la sédimentation des particules. Les particules de grande taille retomberont plus proches de l'origine de l'éruption tandis que les plus petites retomberont à des distances plus élevées et pourraient perturber les écosystèmes et les populations environnantes sur une plus grande surface, parfois jusqu'à des centaines de milliers de km² (Bonadonna et al., 2015).

Afin de représenter les dépôts de téphra autour d'un volcan, des cartes représentant les isopaques sont utilisées (Figure 3). Une isopaque est un contour reliant les points où l'épaisseur du dépôt est semblable (Houghton and Carey, 2015).

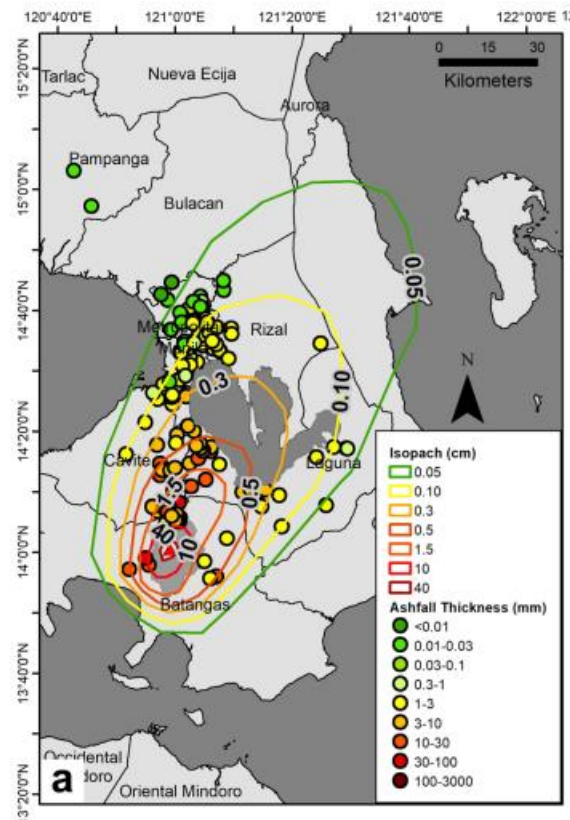


Figure 3 - Carte représentant les isopaches de dépôts de téphra lors de l'éruption du volcan Taal en janvier 2020 (Balangue-Tarriela et al., 2022)

2.2 Les régions volcaniques

2.2.1 Les sols volcaniques

Les sols volcaniques sont les sols formés à partir de matériaux d'origine volcanique. La plupart d'entre eux sont des Andisols (taxonomie des sols de l'USDA¹). Ils possèdent des caractéristiques uniques telles qu'une forte capacité de rétention de l'eau, une faible densité apparente ($< 0.9 \text{ g/cm}^3$), une tendance à accumuler de la matière organique et une fraction en argile dominée par des minéraux non cristallins ou peu cristallins (Dahlgren et al., 2004; Delmelle et al., 2015).

La capacité des sols volcaniques à accumuler la matière organique vient notamment du fait de son recouvrement répété par le téphra qui isole la matière organique des microorganismes capables de la dégrader et qui diminue l'aération du sol. Cette accumulation contribue à la bonne capacité de rétention d'eau des Andisols. Elle se dégrade cependant avec le temps puisque les matériaux deviennent de plus en plus cristallins et donc moins réactifs (Dahlgren et al., 2004; Delmelle et al., 2015).

¹ United States Department of Agriculture

La formation d'agrégats stables par les minéraux peu cristallins et non-cristallins confère aux Andisols une porosité élevée et une large gamme de distributions de la taille des pores. Cette agrégation permet également d'expliquer les valeurs de densité apparente faible (Delmelle et al., 2015; Shoji et al., 1993).

Cependant, la charge électrique positive nette de ces sols peut mener à une rétention quasi irréversible de nutriments essentiels pour la plante comme le phosphore et le soufre. De plus, l'azote est considéré comme l'élément limitant au développement de la végétation sur les sols volcaniques car il est absent du matériau parental (Delmelle et al., 2015).

En général, les Andisols sont un bon milieu de croissance pour les plantes et ils possèdent un fort potentiel agronomique. Dès lors, l'agriculture est omniprésente dans les régions qui sont ou ont été « volcaniquement » actives. Bien que les sols volcaniques ne représentent qu'environ 0,8 % de la surface terrestre, il est estimé que leur production nourrit au moins 10% de la population mondiale (Craig et al., 2016b; Dahlgren et al., 2004; Delmelle et al., 2015).

2.2.2 Densité de population des régions volcaniques

En comparaison avec d'autres terrains géologiques les régions volcaniques sont les plus densément peuplées au monde. La Figure 4 illustre la coïncidence entre la distribution des volcans de l'Holocène et la densité de population globale. On estime qu'environ 800 millions d'individus résident à moins de 100 km d'un volcan en activité. Cette proximité s'explique par les avantages inhérents aux volcans, tels que la fertilité des sols volcaniques, l'élévation du relief offrant des emplacements stratégiques pour les infrastructures, l'abondance des ressources en eau, les opportunités lucratives du tourisme volcanique et la dimension culturelle que les volcans peuvent représenter. De plus, certains volcans sont associés à des ressources géothermiques, qui les rendent potentiellement exploitables énergétiquement. (Loughlin et al., 2015; Small and Naumann, 2001).

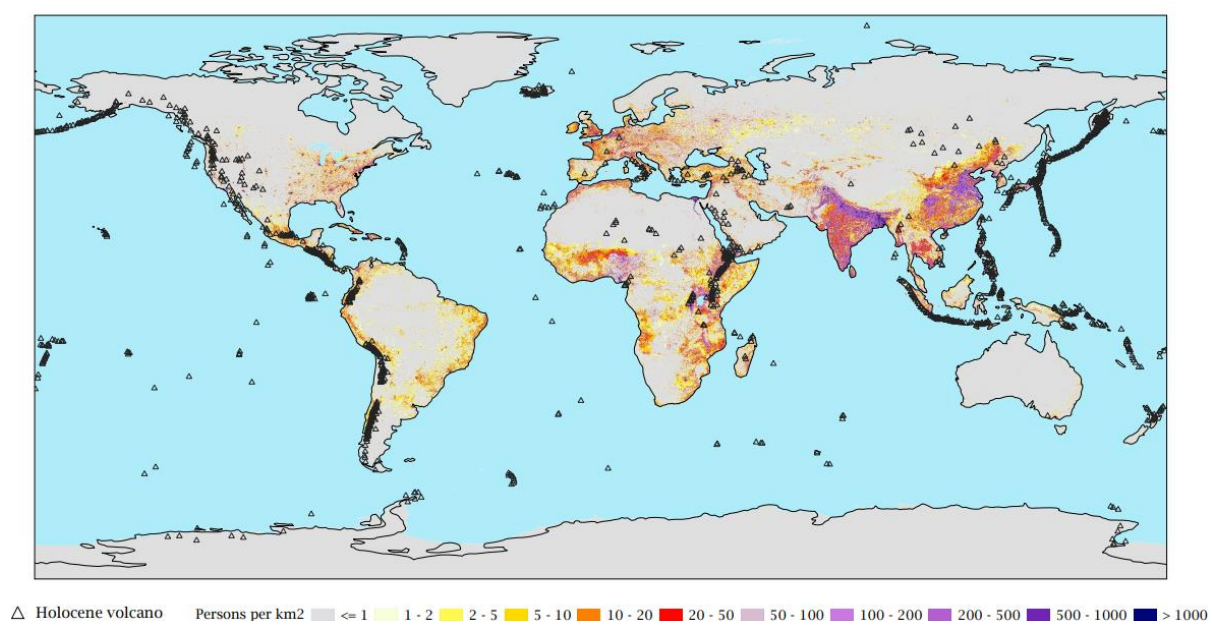


Figure 4 – Distribution globale des volcans de l'Holocène et densité de population globale (Marlon Calispa).

2.3 Les systèmes agraires et leur classification

L'agriculture est définie comme l'ensemble des activités développées par l'Homme, dans un milieu biologique et socio-économique donné, pour obtenir des produits végétaux et animaux qui lui sont utiles, en particulier pour son alimentation (Larousse, n.d.). Elle doit évoluer dans un environnement de plus en plus complexe et changeant et doit s'adapter à la raréfaction des ressources naturelles en répondant à une demande croissante à mesure que la population mondiale augmente (Stark et al., 2016). De plus, l'agriculture peut subir l'impact de catastrophes naturelles ponctuelles (événements climatiques extrêmes, éruptions volcaniques, etc) qui ne peuvent pas toujours être anticipées ou de changements progressifs (augmentation de la température, variations des précipitations, etc). C'est pourquoi l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO) met en avant l'urgence de créer des systèmes agraires résilients aux maladies, aux catastrophes naturelles et aux changements climatiques afin de garantir la sécurité alimentaire, pour les générations actuelles et futures, même face à des menaces croissantes (FAO, 2021; Hendrickson et al., 2008).

Le système agraire est défini par la FAO comme l'ensemble qui comprend le ménage, ses ressources, ainsi que les flux de ressources et les interactions au niveau de l'exploitation individuelle (Figure 5). Chaque exploitation agricole possède donc ses propres caractéristiques spécifiques, qui découlent des variations en ressources disponibles et des circonstances familiales (Dixon et al., 2001). Dans le cadre de l'évaluation de la vulnérabilité de l'agriculture face aux retombées de téphra, il nous semble pertinent de considérer les exploitations agricoles selon une approche systémique car la perte, même partielle, d'un élément du système pourra avoir un « effet domino » sur le reste du système à travers les flux de matières qui circulent dans celui-ci. Sans évaluer les exploitations de manière systémique, il y a un donc un risque de sous-estimer l'impact du téphra sur les exploitations.

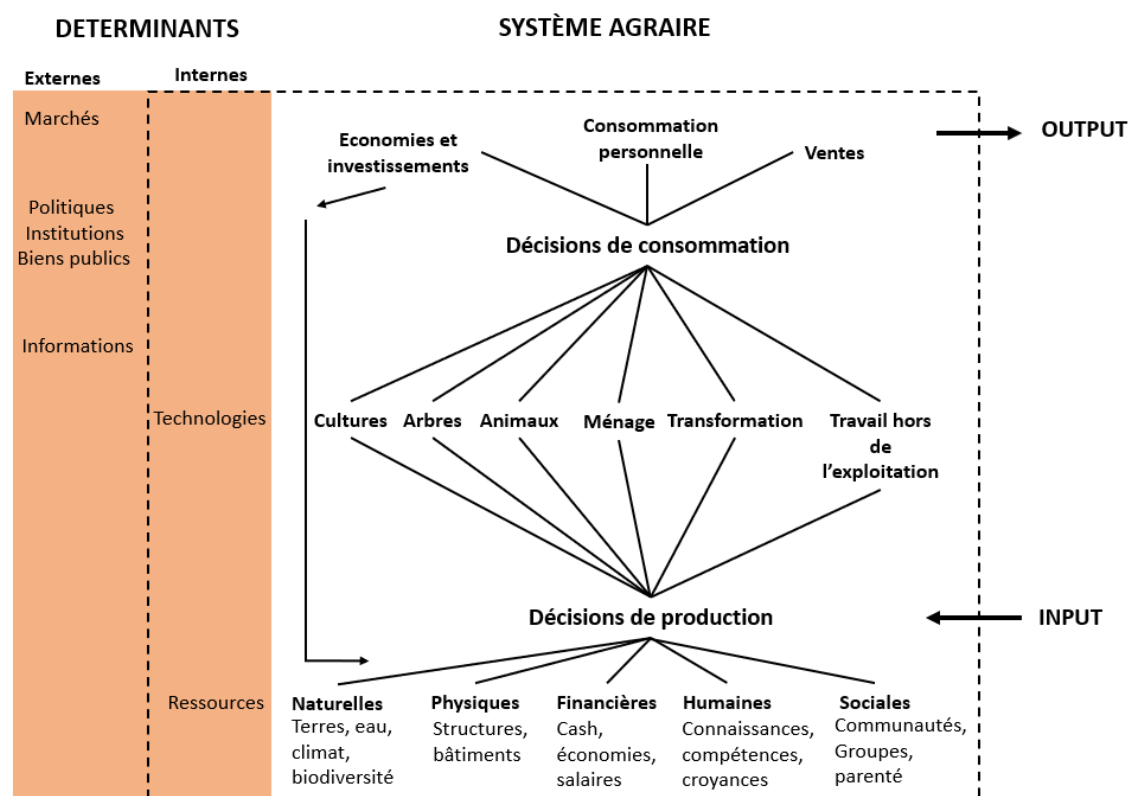


Figure 5- Schématisation d'un système agricole adaptée de Dixon et al., 2001

Bien que chaque exploitation puisse être considérée comme un système agricole unique, il semble utile de regrouper les systèmes agricoles en catégories afin d'élaborer des stratégies de réponses adéquates aux échelles locale et globale. C'est pourquoi la FAO a classifié 72 systèmes de zones en développement en huit catégories : les systèmes agricoles irrigués, les systèmes agricoles basés sur le riz en zone humide, les systèmes agricoles pluviaux en zone humide, les systèmes agricoles pluviaux en zones escarpées et en montagne, les systèmes agricoles pluviaux dans les zones à faible potentiel en raison de la sécheresse ou du froid, les systèmes agricoles dualistes (grandes exploitations commerciales mixtes et petits exploitants), les systèmes artisanaux de pêche côtière et les systèmes agricoles urbains, axés généralement sur la production horticole et animale. (Figure 6). Celles-ci ont été définies sur base de trois critères principaux : la disponibilité en ressources naturelles de base, les modèles dominants des activités de la ferme et des moyens de subsistance des ménages et l'intensité des activités de production. (Dixon et al., 2001).

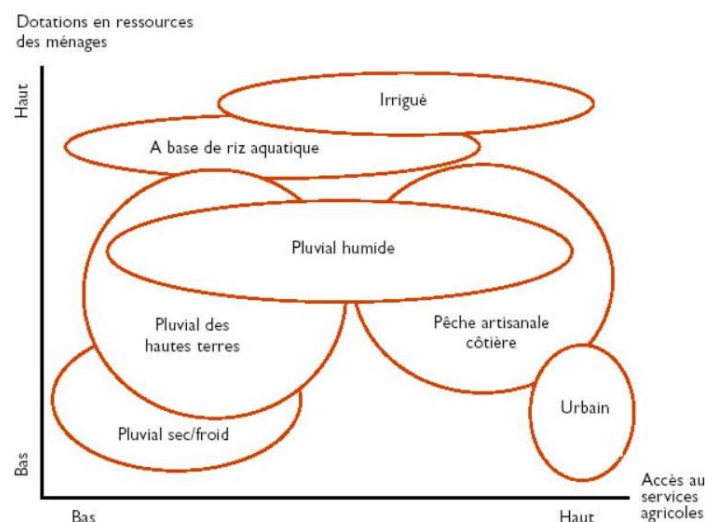


Figure 6 - Catégories de systèmes agraires définies par la FAO selon la dotation en ressources et l'accès aux services agricoles

2.4 Les impact immédiats des retombées de téphra sur l'agriculture

2.4.1 L'impact du téphra sur le sol

Un dépôt de téphra peut exercer différents impacts sur le sol. L'un de ses effets directs est l'altération de l'albédo du sol, ce phénomène pouvant engendrer une élévation ou une diminution de la température du sol. Une baisse de cette température peut induire des perturbations dans l'activité microbienne, entraînant ainsi un ralentissement du processus de décomposition de la matière organique. La modification de la température du sol peut également avoir un effet sur les flux d'eau, augmentant ou diminuant ainsi l'évaporation et l'évapotranspiration (Ayrís and Delmelle, 2012; Craig et al., 2016b).

La porosité, la répartition des tailles de pores ainsi que l'épaisseur de la couche de téphra peuvent influencer les échanges d'eau et de gaz entre le sol et l'atmosphère. Ainsi, les particules de plus grande taille peuvent, dans certaines situations, améliorer l'infiltration de l'eau, tandis que les particules plus fines peuvent la restreindre. Les perturbations dans les échanges gazeux peuvent également avoir un impact sur l'évaporation du sol. L'interaction entre les variations du taux d'humidité du sol et les fluctuations de sa température peut engendrer des dynamiques complexes dans l'écosystème sol-plante (Ayrís and Delmelle, 2012).

Les lixiviats de téphra peuvent apporter une quantité anormale d'acide sulfurique dans le sol par oxydation des composés de soufre. Ceci peut influencer le pH du sol à plus ou moins long terme. La baisse de pH peut favoriser la libération de niveaux toxiques d'aluminium dans la solution du sol et entraîner une perte durable d'ions échangeables (Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} et Na^+). Par ailleurs, la lixiviation du téphra peut également ajouter des éléments solubles bénéfiques au sol dans le cas d'une déficience. Ces éléments rendus disponibles à l'absorption par les plantes peuvent améliorer la croissance de certaines plantes. L'apport de fluor au sol par le téphra peut engendrer un problème de phytotoxicité (Ayrís and Delmelle, 2012; Craig et al., 2016b).

2.4.2 L'impact du téphra sur les cultures

Les impacts d'un dépôt de téphra sur la végétation peuvent être d'ordres physique, physiologique et chimique. Leur intensité n'est pas uniquement déterminée par l'épaisseur du dépôt de téphra ou par sa composition mais aussi par la morphologie et la phénologie des espèces de plantes affectées (Ayrís and Delmelle, 2012).

Dans le cas d'un dépôt de téphra épais, la végétation dont la taille est inférieure au dépôt est ensevelie et peut succomber à cet effet. Les plantes et les arbres qui ne sont pas enterrés sous la couche de cendres peuvent subir des cassures quand le poids du téphra sur la canopée est supérieur à la résistance mécanique de la tige ou des branches. Même dans le cas d'un dépôt d'épaisseur plus faible, le poids exercé sur la surface végétale peut être tel qu'il cause des dommages structurels à la plante, ce qui peut entraîner l'abscission prématurée des fruits et des feuilles et/ou l'effondrement de branches. L'abrasion des feuilles par les cendres peut aussi induire une mort localisée des tissus foliaires. Les dommages physiques des feuilles causés par le téphra peuvent se poursuivre longtemps après la chute initiale de téphra en raison de la remise en suspension par le vent (Antos and Zobel, 2005; Ayrís and Delmelle, 2012; T. M. Wilson et al., 2011).

La physiologie des plantes peut également être altérée en raison du recouvrement des feuilles par un dépôt de téphra. De manière directe lorsque la surface foliaire subit des dommages mécaniques et indirectement lorsque la quantité de rayonnement atteignant les feuilles est réduite à cause de leur recouvrement ou lorsque les stomates sont obstrués. Ce qui conduit, dans tous les cas, à une baisse de l'activité photosynthétique (Ayrís and Delmelle, 2012; Cook et al., 1981).

Le téphra sur le feuillage peut également induire des blessures chimiques à cause de la libération de composés solubles au contact de l'eau (Figure 7). Elles peuvent être causées par des concentrations anormales en halogénures. Le téphra peut contenir de la pyrite (Fe_2S) qui au contact de l'eau s'oxyde en acide sulfurique. Les acides peuvent attaquer les structures de protection de surface des feuilles et rendre le feuillage plus vulnérable à la sécheresse et la dessiccation et donc le rendre plus susceptible à des lésions nécrotiques (Le Guern et al., 1980). De plus, les acides en contact avec la surface peuvent engendrer la perte de nutriments clés comme le calcium, le magnésium et le potassium par échanges d'ions (Adams and Hutchinson, 1987). La composition du lixiviat de téphra, qui est déterminée par la chimie de surface du téphra et le flux d'eau qui nettoie le dépôt, contrôle probablement le type et l'intensité des effets chimiques sur le feuillage. Cependant la sensibilité des plantes à l'acidité et aux sels est également dépendante de l'espèce. Ces effets contribuent également à diminuer la photosynthèse (Longstreth and Nobel, 1980). Certains lixiviats de téphra pourraient avoir une action positive sur la plante. Il a été calculé que l'absorption foliaire de macronutriments ne pourrait être pertinente que pour de très faible épaisseur de téphra ($<1\text{mm}$). Tandis que l'absorption de micronutriments nécessiterait des dépôts très épais qui causeraient des impacts physiques sévères. De plus, la lixiviation dépend de l'intensité de la pluie et de l'accessibilité de la feuille au dépôt. Une pluie trop légère ne peut pas solubiliser assez de nutriments pour que cela soit bénéfique à la plante tandis qu'une trop forte pluie

peut laver les cendres des cultures plus rapidement que le temps nécessaire à l'absorption des nutriments (Ayrís and Delmelle, 2012).

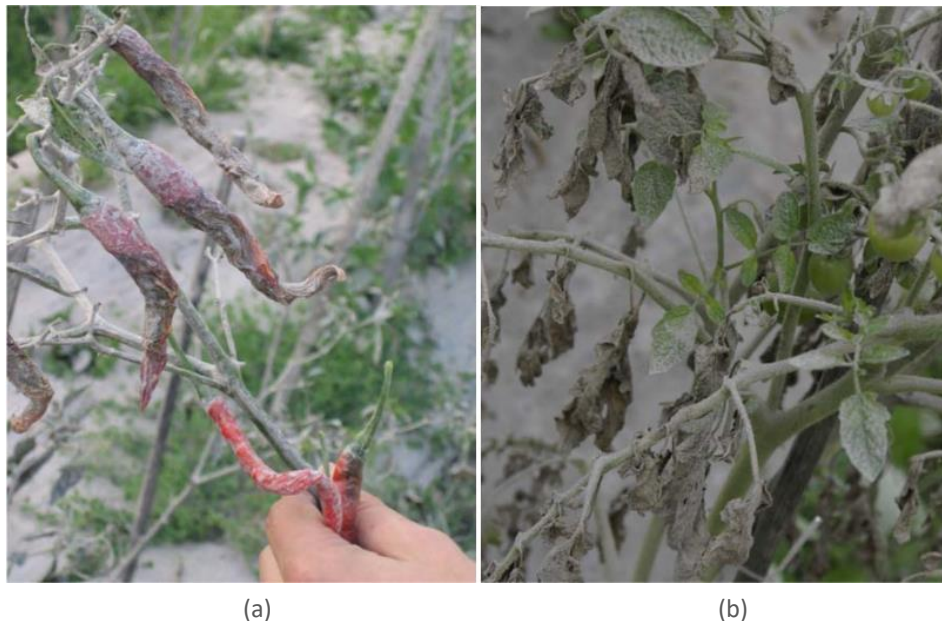


Figure 7 - Dommages causés par des aérosols acides sur des plants de piments (a) et de tomates (b) après l'éruption du volcan Merapi en 2006 (Wilson et al., 2007).

Le temps de résidence du téphra sur les surfaces végétales dépend d'un certain nombre de variables physiques qui sont surtout spécifiques à la plante en elle-même. La rugosité de la surface joue un rôle important dans la rétention des particules car elle atténue les impacts érosifs du vent et de la pluie. Le temps de rétention des cendres sur la feuille s'avère plus long dans le cas de plantes pubescentes (Cook et al., 1981). L'érosion du vent et de la pluie sont les principaux processus qui permettent de retirer la cendre des surfaces végétales. L'humidification du téphra pendant et/ou après le dépôt peut augmenter le temps de résidence par la formation d'une croûte de cimentation sur la surface (Ayrís and Delmelle, 2012).

Les dommages conduisent à des conséquences défavorables pour la photosynthèse et quand les fleurs sont abîmées peuvent résulter à un déclin de la pollinisation. (Ayrís and Delmelle, 2012; Craig et al., 2016b)

2.4.3 L'impact sur le bétail

Les retombées de téphra peuvent également avoir un impact négatif sur le bétail. En effet, la couche de téphra qui recouvre les pâturages peut rendre ceux-ci indisponibles à la consommation des ruminants et de ce fait entraîner l'inanition. Dans le cas où l'épaisseur de la couche de téphra est assez fine pour pouvoir maintenir la rumination, les cendres adhérant à la végétation peuvent induire des problèmes de digestion chez les animaux ainsi que des blessures internes. Dans certains cas, la nourriture s'accumule dans le rumen et bloque

l'intestin qui se met à gonfler contre les poumons, induisant la mort par asphyxie (Craig et al., 2016b; Wilson et al., 2011).

Dans les zones où les épaisseurs de cendres sont les plus faibles, les éleveurs remarquent que les dents utilisées pour la rumination sont usées, parfois jusqu'à la gencive, par abrasion des cendres. Ceci est dû au fait que les animaux continuent à se nourrir parce qu'ils ne perçoivent pas la fine couche de cendres. Certains des animaux affectés par ce phénomène risquent de succomber à la faim, tandis que chez d'autres, on constate des performances médiocres qui perdureront tout au long de leur vie en raison de l'usure dentaire. (Craig et al., 2016b)

Le bétail peut également souffrir de déshydratation si sa source d'apport en eau est continuellement contaminée par la cendre. En outre, la végétation, qui sert également de source d'eau pour le bétail, deviendra inutilisable en raison de l'abrasion constante qui entraîne son assèchement. Les animaux peuvent également souffrir de cécité permanente causée par l'abrasion de la cornée. (Craig et al., 2016b; Wilson et al., 2011)

La contamination de l'environnement par le fluor provenant du téphra peut causer des fluoroses aiguës et chroniques aux ruminants, selon la dose et la durée d'exposition. Ce risque est accru si les animaux sont en gestation ou en mauvaise condition. La première voie de contamination pour les ruminants est l'ingestion de composés de fluor qui se trouvent sur les surfaces végétales. (Riede and Kierdorf, 2020; Weinstein and Davison, 2003)

2.5 La vulnérabilité

L'UN/ISDR (2009)² définit la vulnérabilité comme les circonstances et les caractéristiques d'une communauté, d'un système ou d'un actif qui les rendent susceptibles d'être impactés négativement par un danger. La vulnérabilité découle d'aspects physiques, sociaux, économiques et environnementaux. Des études précédentes ont révélé que les effets des retombées de cendres volcaniques sur l'agriculture et la foresterie dépendront des caractéristiques de l'exploitation touchée, des conditions climatiques locales, de la période de l'année, de la nature et de la structure de la végétation ainsi que des cultures, de la gestion des risques déjà en place, ainsi que des propriétés et de la santé globale de l'écosystème. Actuellement, la complexité de la vulnérabilité n'est pas bien prise en compte dans les outils d'évaluation d'impact et de risque (Craig et al., 2021). Une approche couramment utilisée consiste à classer les impacts par secteur et à lier l'intensité du danger à l'état des dommages et/ou des perturbations sur chaque secteur (Wilson et al., 2015).

2.5.1 Les fonctions de fragilité et de vulnérabilité

À ce jour, la majorité des études évaluent la vulnérabilité de l'agriculture face aux retombées de téphra en estimant les pertes de rendement des productions agricoles en fonction de l'épaisseur du dépôt. Les études disponibles se résument à des preuves circonstancielles et à

² United Nations/International Strategy for Disaster Reduction

un petit nombre d'enquêtes post-éruptives (Blake et al., 2015; Craig et al., 2021, 2016a; T. Wilson et al., 2011; Wilson and Kaye, 2007). Elles étudient l'impact de manière isolée, sans prendre en compte le système agraire dans son ensemble, et pour quelques types de productions seulement. L'impact sur les cultures est d'ailleurs mieux documenté que celui sur l'élevage.

Les fonctions de fragilité sont utilisées comme modèle de la vulnérabilité (Figure 8). Ces fonctions donnent la relation entre l'intensité de l'impact (dans ce cas l'épaisseur de la couche de téphra) et la probabilité de dépasser un état d'impact (IS). Les états d'impacts sont des descriptions qualitatives et, dans certains cas, quantitatives des conséquences de l'impact sur l'élément exposé. La Figure 8 illustre une fonction de fragilité pour laquelle les IS sont basés sur une échelle numérique qui leur attribue un chiffre de 0 à 4 (impact le plus faible vers l'impact le plus élevé) (Craig et al., 2021; Porter et al., 2007).

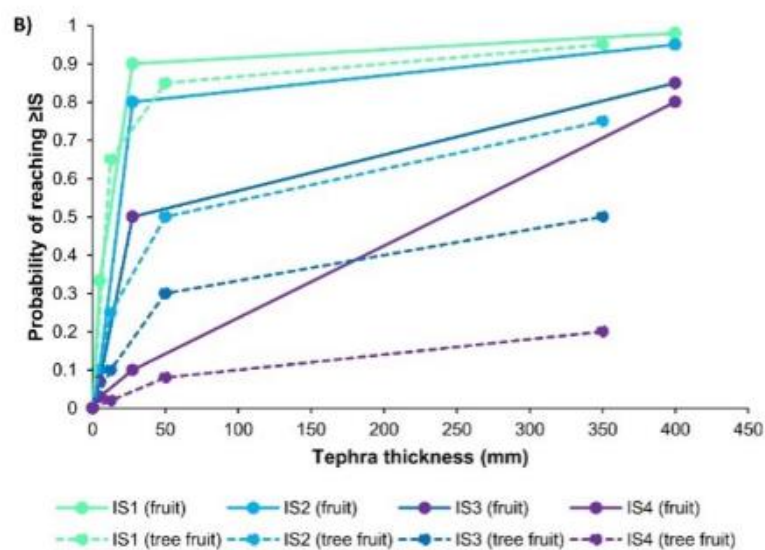


Figure 8 - Fonctions de fragilité de fruits non arboricoles et d'arbres à fruits (Craig et al., 2021).

Des fonctions de vulnérabilité peuvent également être utilisées en donnant, plus simplement, le pourcentage direct de perte de l'objet exposé en fonction de l'intensité de l'impact (Figure 9) (Antoniou and Elnashai, 2000; Wilson and Kaye, 2007).

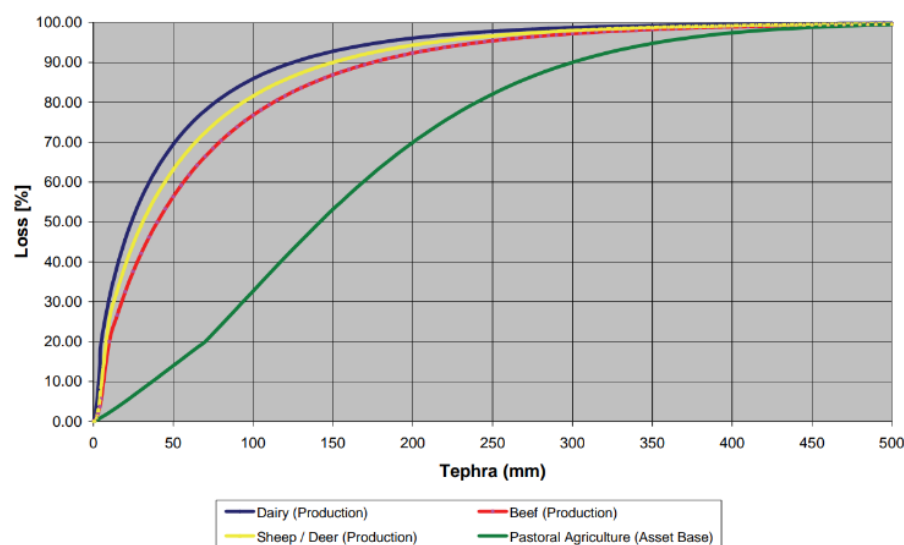


Figure 9 - Fonctions de vulnérabilité de l'agriculture pastorale (Wilson et Kaye, 2007)

Selon nous, cette approche dose-réponse n'est pas suffisante pour quantifier la vulnérabilité des systèmes agraires. En effet, lorsqu'un élément du système est impacté par le téphra, cela entraînera potentiellement des répercussions sur d'autres éléments du système à cause des flux de matière qui existent au sein de celui-ci. Par exemple, cela aura potentiellement un effet sur la fertilisation des cultures par les déjections animales ou encore l'alimentation des animaux par les cultures fourragères.

2.5.2 La vulnérabilité dans le cadre d'une évaluation de risque

Le concept de vulnérabilité peut être utilisé dans le cadre d'une évaluation de risques. Il s'agit d'une discipline qui permet de quantifier les conséquences d'un phénomène naturel défini dans le temps et l'espace et qui peut potentiellement provoquer des dégâts, on nomme ce phénomène un « aléa ». Le risque établit un lien entre l'aléa, l'exposition (élément(s) se trouvant dans la zone impactée par l'aléa) et la vulnérabilité (degré de perte de l'élément exposé à l'aléa) (Fell, 1994; UNDRO, 1980; UN/ISDR, 2007) Ainsi, le risque est défini à l'aide de l'équation (1) :

$$\text{Risque} = \text{Aléa} \times \text{Exposition} \times \text{Vulnérabilité} \quad (1)$$

On utilise une approche probabiliste pour quantifier le risque et lorsque ceci n'est pas possible on appelle l'analyse « une évaluation d'impacts ».

L'évaluation de risques est applicable lors d'une éruption volcanique. Dans ce cas, l'aléa représente la probabilité qu'un événement volcanique se déclare dans une période et une région donnée. L'exposition représente l'élément ou la valeur qui est considérée comme à risque. Cela peut donc désigner entre autres une population, une propriété, une activité économique qui sont susceptibles d'être impactées par l'événement. Dans le cadre de ce travail il s'agit des systèmes agraires. La vulnérabilité est une mesure de la proportion de la valeur susceptible d'être perdue en raison d'une manifestation volcanique donnée ; ici, les pertes financières subies par les exploitations.

L'évaluation du risque est importante pour choisir la meilleure façon d'occuper les terres ainsi que pour établir des plans d'action à mettre en place lors d'une potentielle éruption (De La Cruz-Reyna, 1996; Lirer and Vitelli, 1998; UNESCO, 1972). La compréhension actuelle de la vulnérabilité reste morcelée et incomplète, ce qui freine le développement de stratégies adaptées à la réduction de risque dans les régions volcaniques et menace la durabilité des systèmes agraires dans ces régions.

3 Objectif de l'étude

L'objectif principal de la recherche est d'évaluer la vulnérabilité de l'agriculture face aux retombées de téphra en utilisant une approche systémique. En effet, la vulnérabilité de l'agriculture a pour le moment été étudiée sur des éléments distincts comme les cultures ou l'élevage sans relever les interactions qu'il peut exister entre ceux-ci. Ce travail a pour ambition de combler ce manque d'informations en apportant de nouvelles données et de nouvelles perspectives. Ce travail souhaite également montrer la pertinence et la faisabilité d'une approche systémique dans le cadre de l'évaluation des risques volcaniques pour l'agriculture. Cet objectif général se divise en trois sous-objectifs :

1° Décrire de manière systémique la structure et le fonctionnement d'exploitations agricoles qui existent dans une région volcanique donnée.

2° Analyser le fonctionnement économique de ces exploitations en situation normale.

3° Analyser la viabilité économique de ses exploitations dans le cas d'une éruption volcanique en fonction de la période d'éruption.

Afin de réaliser ceci, des interviews ont été menées aux Philippines dans la province d'Albay autour du volcan Mayon. Nous espérons que ce travail pourra alimenter nos connaissances sur les systèmes agraires en région volcanique et qu'à terme il sera possible de déterminer les éléments les plus vulnérables afin de mettre en place des stratégies adéquates pour améliorer la durabilité des systèmes agraires et ainsi aider les populations autochtones.

4 Matériel et méthodes

4.1 Collecte des données

4.1.1 Le volcan Mayon et sa région

Le volcan Mayon se situe dans la province d'Albay, sur l'île de Luçon aux Philippines (13.26°N/123.69°E) (Figure 10). Il s'agit d'un volcan de type andésitique basaltique dont le sommet culmine à 2462 m au-dessus du niveau de la mer. Il connaît des éruptions modérément explosives et phréatiques environ tous les 10 ans. Ainsi, il est considéré comme le volcan le plus actif des Philippines, présentant 48 éruptions durant les 400 dernières années (Martinez-Villegas et al., 2021; Ruth and Costa, 2021; Takla et al., 2014). La dernière éruption significative, avant la collecte de nos données, remonte à 2018 (VEI : 2), soit environ 4 ans avant que les interviews ne soient réalisées. Cette éruption est à l'origine d'un panache de cendres de 5 km de haut au-dessus du volcan (Crafford et al., n.d.). Selon PHIVOLCS³, le volcan est également entré en éruption en 2014 (VEI : 0), 2013 (VEI : 1), 2009 (VEI : 2) et 2006 (VEI : 1) ("Global Volcanism Program | Mayon," n.d.; "VMEPD: Eruption History," n.d.).

Notons que les panaches de cendres volcaniques ne sont pas les seules conséquences des éruptions qui posent problème autour du volcan Mayon. Les coulées pyroclastiques et les lahars ont également un effet dévastateur sur les pentes du volcan. Par exemple, en 2014, la formation d'un dôme de lave a entraîné des chutes de pierres, des coulées pyroclastiques et des coulées de lave qui ont conduit à l'évacuation des populations avoisinantes (Crafford et al., n.d.).

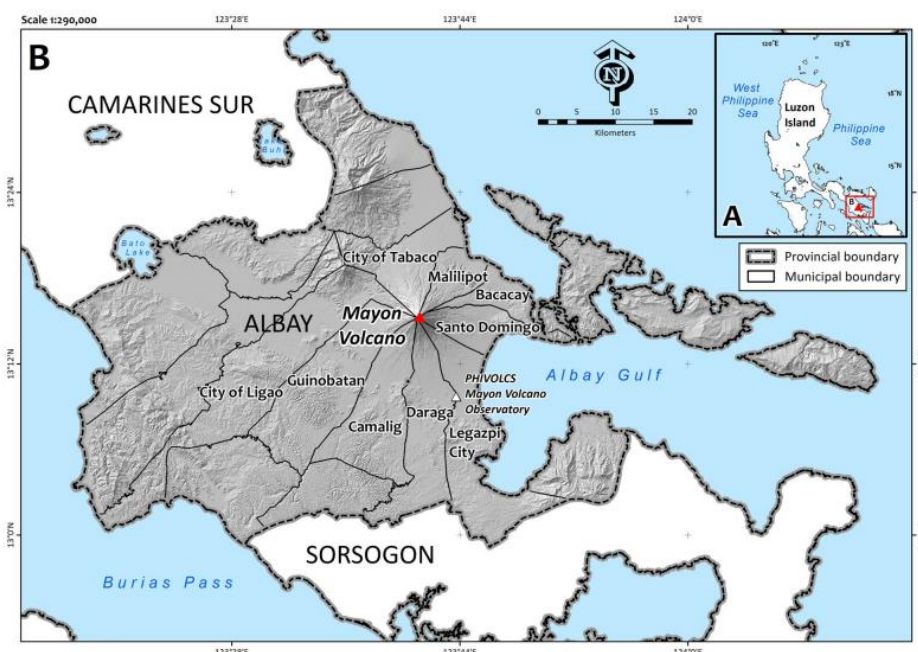


Figure 10 - Localisation du volcan Mayon dans la province d'Albay et sur l'île de Luçon (Martinez-Villegas et al., 2021)

³ Philippine Institute of Volcanology and Seismology

La région autour du Mayon est densément peuplée. En 2020, la population de la province d'Albay était de 1 374 768 personnes, soit une densité de 515 personnes par km² ("Philippine Statistics Authority | RSSO V | Solid, Responsive, World Class," n.d.). Selon un rapport réalisé par Oxfam en 2008, 42% de la population de cette province vit en dessous du seuil de pauvreté. En 2022, ce seuil est défini par la Philippine Statistic Authority comme un revenu de 12 030 PHP/ mois pour une famille de cinq personnes (" | Philippine Statistics Authority | Republic of the Philippines," n.d.). La proportion de la population concernée fait majoritairement partie des petits exploitants agricoles, des pêcheurs, des ouvriers sans terre et des agriculteurs de terres hautes dont environ la moitié vit sous le seuil de subsistance (Usamah and Haynes, 2012). En 2022, ce seuil est défini par la Philippine Statistic Authority comme un revenu de 8379 PHP/mois pour une famille de cinq personnes (" | Philippine Statistics Authority | Republic of the Philippines," n.d.). Les secteurs dominants dans la province d'Albay sont la pêche ainsi que la culture de coco, de riz, de sucre et d'abaca (Usamah and Haynes, 2012). Suite à l'éruption de 2018, le coût des dommages liés à l'agriculture est estimé à environ 185 000 000 PHP (~3 000 000 euros) ("DA ACPC to fast track agri loan for Albay farmers | DA Regional Field Office 5," n.d.).

4.1.2 Méthode de recherche d'informations

La description et l'analyse des huit systèmes agraires nécessitaient la récolte de valeurs chiffrées. Pour ce faire, une mission a été effectuée aux Philippines entre le 21 octobre 2022 et le 1^{er} novembre 2022 et des interviews ont ainsi pu être réalisées dans huit exploitations autour du volcan Mayon entre le 24 et le 27 octobre 2022. Cette mission de terrain s'inscrit dans le cadre d'un projet financé par la coopération belge au développement (Synergy ARES) impliquant l'UCLouvain, l'University of the Philippines at Los Banos, l'antenne locale d'une ONG belge œuvrant aux Philippines (Solidagro), une ONG philippine qui œuvre dans la région de Bicol en cas d'éruption volcanique (*Tarabang para sa Bicol* ou « TABI ») et un réseau d'institutions et d'organisations multidisciplinaires œuvrant pour le développement de divers secteurs aux Philippines (Climate Change Network for Community-based Initiative ou « CCNCI »).

Les huit exploitations se trouvent dans trois villages différents autour du volcan Mayon (Figure 11). Deux équipes ont été formées afin de réaliser quatre interviews chacune. Chaque équipe était composée d'un membre de l'UCL (Sophie Malherbe ou Noa Ligot) et d'au moins trois membres de l'équipe philippine : un partenaire de Legazpi (membre de l'ONG « TABI »), qui réalisait l'interview en Bicol avec l'agriculteur et la traduisait en Tagalog, et deux partenaires de Manille qui traduisait le Tagalog en Anglais (membres de Viva Salud qui est également une ONG belge œuvrant notamment aux Philippines, de Solidagro et/ou du CCNCI). Les interviews étaient réalisées à l'aide d'un questionnaire rédigé en Anglais et traduit en Bicol qui comportait sept catégories (Annexe A) :

- Les informations de contact et les généralités sur l'exploitation,
- Le système d'élevage,

- Le système de culture,
- La main d'œuvre,
- Les dépenses et les revenus,
- Les peurs et les préoccupations,
- Le volcan et les retombées de cendres volcaniques.

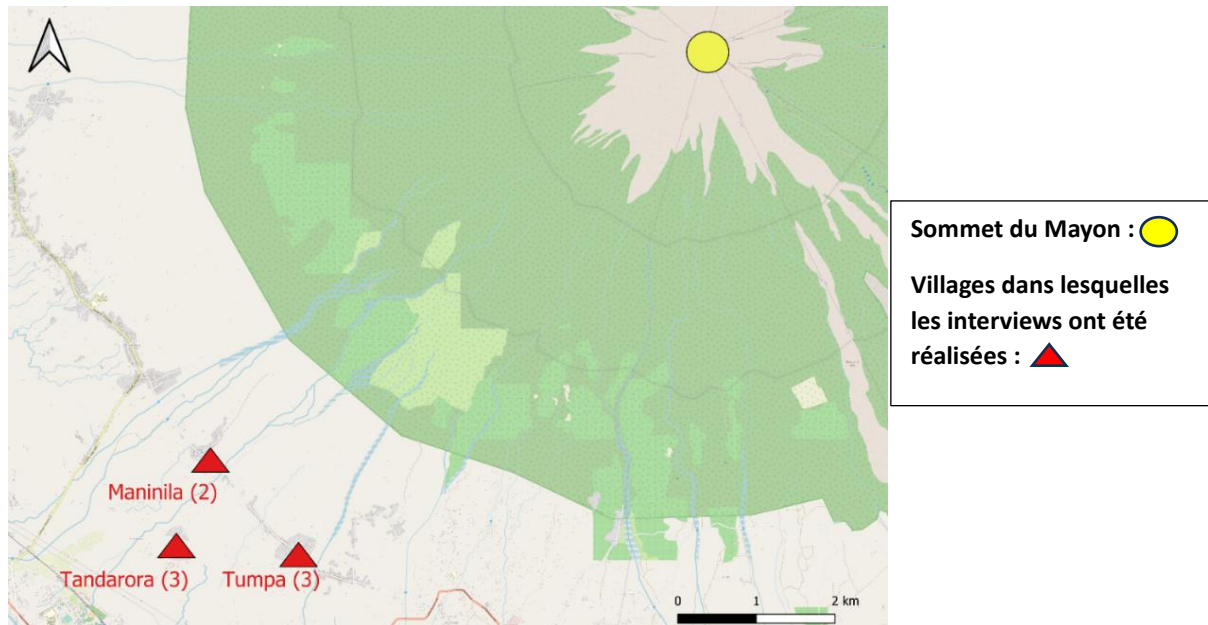


Figure 11 - Carte représentant le sommet du volcan Mayon et les trois villages dans lesquels les interviews ont été réalisées

4.2 Analyse des réseaux écologiques

Des études récentes ont appliqué les méthodes qui sous-tendent l'analyse des réseaux écologiques (ENA) pour décrire de manière quantitative des systèmes agraires. L'ENA a pour but d'analyser les interactions au sein d'un système et d'identifier ses propriétés en le percevant comme un tout indivisible. Ceci nécessite donc d'analyser les propriétés structurelles et fonctionnelles d'un système, sans réduire le système à ses constituants minimums. Ainsi, les modèles de réseaux écologiques permettent d'inclure tous les constituants du système et les interactions qui lient ces constituants entre eux et avec l'extérieur du réseau. La construction de ces modèles nécessite d'identifier toutes les relations au sein du système ainsi que la quantité de matière mobilisée par chaque flux, permettant de connaître leur importance dans le réseau (Fath et al., 2007). En vue d'appliquer l'ENA aux huit systèmes agraires étudiés autour du volcan Mayon, ce travail s'inspire d'une étude réalisée par Stark et al. (2019). Dans celle-ci, les auteurs ont appliqué l'ENA à 17 systèmes agraires de polyculture-élevage (c'est-à-dire des systèmes qui combinent plusieurs types de cultures et au moins une activité d'élevage) en milieu tropical humide.

4.2.1 Modèles conceptuels

Afin de représenter le réseau étudié sous forme d'un modèle conceptuel, il est essentiel de déterminer les frontières du système que l'on souhaite analyser (Spedding, 2012). Dans notre cas, les limites sont fixées au niveau de l'exploitation. Ensuite, il est nécessaire de définir les compartiments du système et les relations qui existent entre eux et avec l'environnement. Il peut également être nécessaire de définir des sous-systèmes à l'intérieur du système principal. Les relations d'éléments du système avec les éléments considérés comme étant « hors système », c'est-à-dire en dehors des frontières fixées au préalable, seront alors considérés comme des inputs ou des outputs selon qu'ils entrent ou sortent du système (Stark et al., 2019).

Dans ce travail, chaque système agricole a été représenté à l'aide de deux logiciels différents (*Powerpoint* et *Gephi*) permettant ainsi de représenter le modèle de deux manières différentes en fonction des outils disponibles sur chaque logiciel. La première représentation du modèle, réalisée à l'aide du logiciel *Powerpoint*, a été adaptée à partir de celle proposée dans un travail de fin d'études antérieur (Donfut, 2022). Celle-ci regroupe les éléments du système en quatre sous-systèmes : i) cultures, ii) élevage, iii) stockage et iv) des ressources informelles. Les éléments du modèle sont répartis en neuf compartiments internes au système. Le sous-système de cultures est divisé en trois compartiments en fonction de la saisonnalité et de la destination des cultures : les cultures pérennes, les cultures annuelles, les cultures à cycle court et les cultures fourragères. Ce dernier n'a cependant pas été utilisé dans ce travail comme compartiment à part entière et les cultures fourragères sont réparties dans les trois premiers compartiments car les exploitations étudiées ne consacrent jamais exclusivement leurs cultures à la production de fourrages. Les quatre autres correspondent aux animaux qui pâturent, aux animaux qui ne pâturent pas, au stockage du fumier, au stockage des fourrages et aux prairies permanentes. Sur cette représentation, les flèches qui représentent les différents intrants sont de couleur noire tandis que les flèches rouges, si elles sont pleines, représentent les productions vendues et, si elles sont pointillées, les productions consommées par la famille (Figure 12).

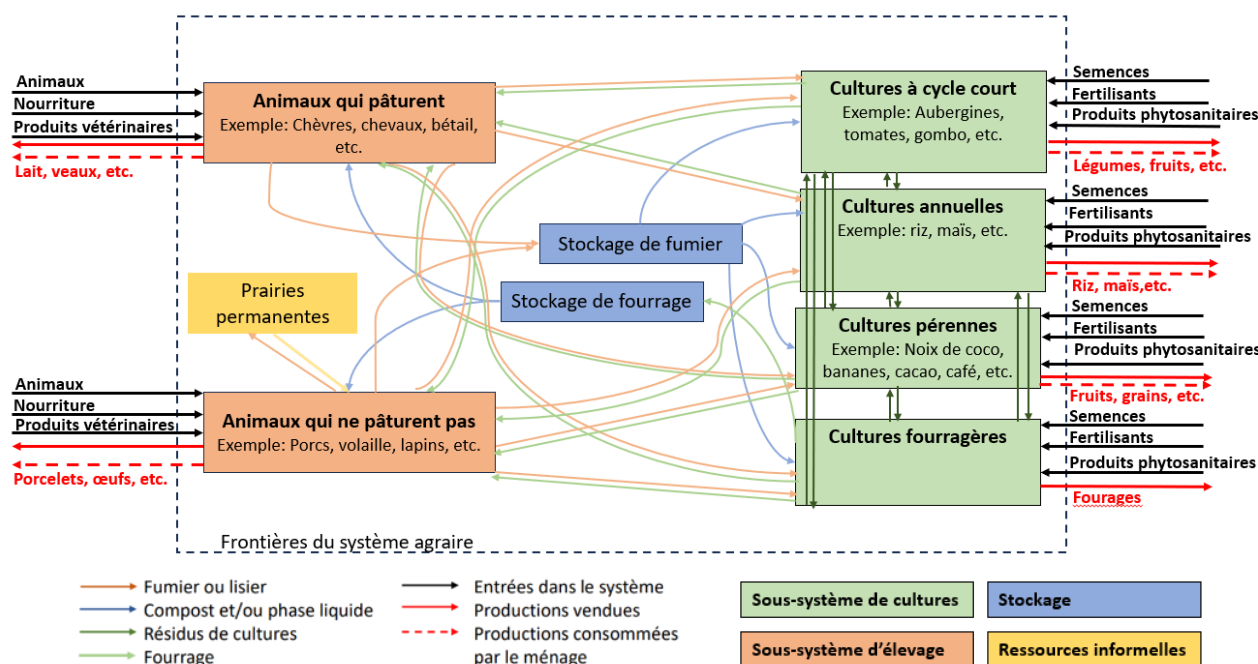


Figure 12 - Système agricole-type représentant les différents éléments du système, leurs interactions, et les interactions du système avec l'extérieur, adapté de Donfut (2022)

La seconde représentation du modèle a été réalisée grâce au logiciel *Gephi* (version 0.10.1). Il s'agit d'un logiciel open source et open access qui a été développé pour l'analyse de graphiques et de réseaux. Il est utilisé dans des domaines variés comme l'analyse de réseaux sociaux, la biologie, la génomique, etc (Bastian et al., 2009; Jacomy et al., 2014). *Gephi* permet de dessiner des réseaux présentant des cercles (appelés nœuds) qui correspondent aux constituants du système et qui peuvent ensuite être reliés entre eux par des liens dirigés (c'est-à-dire dont le sens de l'interaction est indiqué par une flèche) ou non (Figure 13). La couleur et la taille des nœuds peut être choisie manuellement ou automatiquement selon divers critères comme détaillés ci-dessous. Il est également possible d'afficher les labels des nœuds et des liens.

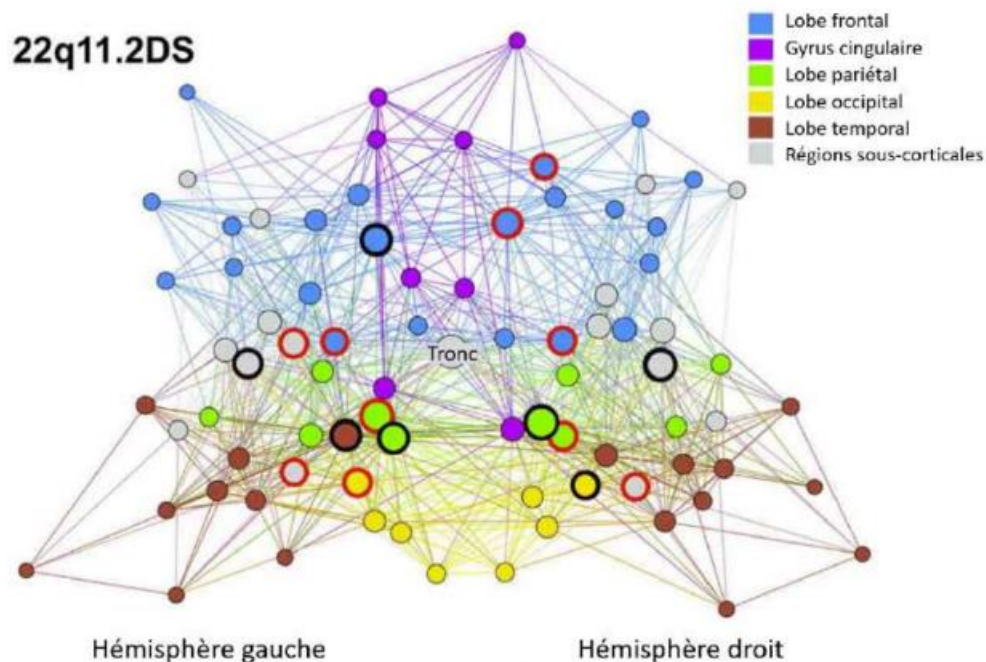


Figure 13 - Exemple d'application du logiciel Gephi dans le domaine médical. Représentation du cerveau moyen d'un groupe homogène d'individus atteints du syndrome de la délétion 22q11.2 (sous-type génétique de la schizophrénie)

Dans ce travail, chaque nœud représente un constituant du système. Ce qui veut dire qu'un type de culture, par exemple, est représenté par un cercle. La taille des nœuds est proportionnelle à leur degré. Plus ils sont liés à d'autres nœuds, plus leur taille augmente. Pour terminer, la couleur des nœuds dépend de quel type d'élément il s'agit : culture (vert), élevage (rouge), intrant (mauve), productions vendues et échangées (orange), productions destinées à la consommation personnelle (bleue) ou autre (jaune). En ce qui concerne les liens, leur taille ne diffère que dans le cas des productions vendues ou échangées et elle est déterminée par la valeur du flux en [PHP/an] que la production génère. Les liens sont mauves dans le cas où il s'agit d'une entrée dans le système, orange quand il s'agit d'une sortie et rouge ou vert lorsque ce sont des flux internes au système. Dans le cadre de ce travail, nous utilisons une des fonctionnalités du logiciel appelée ForceAtlas2 qui est une disposition générée par un algorithme. Lorsqu'il tourne les nœuds vont se repousser les uns les autres, tandis que les liens vont être attirés les uns vers les autres (Jacomy et al., 2014). Le résultat obtenu est donc une disposition spatiale des éléments du système mettant en évidence les nœuds les plus connectés, qui seront centraux, alors que les éléments présentant le moins d'interactions seront en périphérie.

4.3 Analyse économique des exploitations

Nous avons ensuite réalisé une analyse économique de chaque exploitation afin de connaître la situation financière des huit exploitations agricoles étudiées au moment des interviews (soit environ quatre ans après la dernière éruption) et pour une période d'un an. Nous avons ainsi calculé les valeurs suivantes, exprimées en peso philippin par an (PHP/an) :

- la valeur fictive brute, correspondant à la valeur totale des cultures et des animaux produits sur la ferme sur une année,
- les coûts, représentant la somme d'argent dépensée sur une année afin de mener à bien les productions des cultures et de l'élevage. Ils comprennent l'achat des semences, des fertilisants et des produits phytosanitaires, la main d'œuvre engagée, les services et produits vétérinaires et la nourriture achetée pour le bétail, la location d'outils agricoles, l'éventuelle location de terres agricoles, les dépenses nécessaires à la transformation des produits agricoles (par exemple, l'usinage du riz),
- la valeur fictive nette, égale à la valeur fictive brute moins les coûts engendrés par les productions des cultures et de l'élevage,
- le revenu brut, correspondant à la valeur réellement gagnée par la vente de productions agricoles,
- le revenu net, égal au revenu brut moins les coûts engendrés par les productions des cultures et de l'élevage,
- les revenus externes à l'exploitation, n'étant pas liées aux productions agricoles,
- les dépenses externes à l'exploitation, n'étant pas liés aux productions agricoles,
- le revenu brut total du ménage, égal à la somme des revenus bruts et externes à l'exploitation,
- les dépenses totales du ménage, correspondant à la somme des dépenses effectuées uniquement dans le cadre de l'exploitation agricole,
- le revenu net total du ménage, égal à la différence entre les revenus totaux du ménage et ses dépenses totales.

4.4 Détermination des pertes subies par les exploitations en cas d'un dépôt de téphra

La majorité des études menées jusqu'à présent évaluent l'impact des retombées de téphra sur l'agriculture en associant l'ampleur des dégâts à une certaine épaisseur de téphra (Craig et al., 2021; Neild et al., n.d.; Wilson et al., 2007). Il a également été démontré que la sévérité des impacts augmentait avec la quantité de téphra (Craig, 2015). Nous avons donc décidé, dans ce travail, d'évaluer les pertes de production subies par les exploitations situées sous des épaisseurs de téphra de 5 et 50 millimètres, en nous appuyant sur des informations issues de la littérature. Le choix de ces valeurs est arbitraire mais il permet de montrer la différence d'impact entre deux épaisseurs contrastées de dépôt de téphra. De plus, ce sont des épaisseurs qui sont tout à fait probables à une distance de quelques kilomètres du volcan. En effet, l'éruption de 2018 avait un VEI estimé à deux, donc on estime une couche de téphra entre un et dix centimètres à une distance entre un et dix kilomètres du volcan (Bonadonna and Costa, 2012). Afin de déterminer les pertes sur les productions en cours que subiraient les exploitations étudiées à la suite de dépôts de 5 et 50 millimètres de téphra, nous appliquons des coefficients de pertes et de saisonnalité aux données de valeur fictive [PHP/an], de productions [kg/an] et de revenus calculés [PHP/an] (équations (2), (3) et (4)). Les choix des coefficients (Coef.) utilisés sont expliqués dans les sections 4.4.1 et 4.4.2

$$Perte\ de\ valeur\ fictive\ \left[\frac{PHP}{an}\right] = Valeur\ fictive\ \left[\frac{PHP}{an}\right] \times Coef.\ de\ pertes \times Coef.\ de\ saisonnalité (2)$$

$$Perte\ de\ production\ \left[\frac{kg}{an}\right] = Production\ \left[\frac{kg}{an}\right] \times Coef.\ de\ pertes \times Coef.\ de\ saisonnalité (3)$$

$$Perte\ de\ revenu\ brut\ \left[\frac{PHP}{an}\right] = Revenu\ brut\ \left[\frac{PHP}{an}\right] \times Coef.\ de\ pertes \times Coef.\ de\ saisonnalité (4)$$

4.4.1 Détermination des coefficients de pertes sur les productions

  ce jour, il existe peu d tudes qui quantifient les pertes de productions induites par une retombée de téphra (Blake et al., 2015; Craig et al., 2021, 2016b, 2016a; T. Wilson et al., 2011; Wilson et al., 2007). Le volume limité de littérature pertinente nous contraint à utiliser des données qui n'ont pas été spécifiquement estimées pour les Philippines, mais sur des pays comme la Nouvelle-Zélande (Craig et al., 2021; Wilson and Kaye, 2007). Il serait donc nécessaire d'effectuer des études de vulnérabilité post-éruptives spécifiques à la région du Mayon et donc aux types de systèmes agraires présents dans celle-ci. En outre, ces études se focalisent sur chaque élément agricole séparément et proposent des fonctions de fragilité et des coefficients de pertes de rendement pour les productions agricoles de manière individuelle. Aucune d'elles n'envisage les exploitations comme des systèmes agraires qui peuvent présenter des structures et des fonctionnements très variables entrainant des vulnérabilités très différentes.

Dès lors, nous utilisons principalement dans ce travail les fonctions de fragilité développées par Wilson et Kaye, 2007 et par Craig et al., 2021 (Annexe B). Dans ces deux études, les productions agricoles ont été divisées en trois classes : l'horticulture, l'agriculture pastorale et la sylviculture. Les auteurs ont ensuite réparti les types de cultures en différentes catégories en fonction de la partie comestible de la plante : les légumes à racines, les légumes à feuilles, les légumes à fruits, les cultures arboricoles et la viticulture. En ce qui concerne l'élevage, ils le classifient en trois sous-classes : i)  levage laitier, ii) bovins à destination viandeuse, iii) ovins et cervidés (Tableau 3). Notons que, les fermes étudiées élèvent également des canards, des poules, des dindons, des lapins, des poissons et des abeilles. Il a donc été nécessaire de consulter d'autres sources dans la littérature pour pouvoir leur associer un coefficient de pertes.

Tableau 3 - Classification des produits de la production agricole néo-zélandaise adapté de Wilson et Kaye, 2007

Classes	Sous-classes	Exemples
Horticulture	Légumes à racines	Pommes de terre, carottes
	Légumes à feuilles	Laitue, �pinard
	Légumes à fruits	Brocoli, pois, fraises
	Cultures arboricoles	Pommes, citrons
	Viticulture	Raisins
Agriculture pastorale	Bovins laitiers	Frisonne ou jersey
	Bovins viandeux	Black angus
	Ovins et cervidés	Moutons Merino ou Romney
Sylviculture	Nouvelle plantation	<i>Pinus radiata</i> , <i>Eucalyptus</i>
	Arbres de 2 à 10 ans	<i>Pinus radiata</i> , <i>Eucalyptus</i>
	Arbres de > 10 ans	<i>Pinus radiata</i> , <i>Eucalyptus</i>

Des fonctions de fragilité supplémentaires pour le riz et les céréales ont été développées par Craig et al., 2021. Ligot, 2022 a également développé des fonctions de fragilité plus précises pour la perte de rendement des oignons sous 5mm de téphra. Chaque type de production retrouvé dans les huit exploitations étudiées sera dès lors associé à un coefficient de perte adapté de la littérature ou directement des interviews lorsque l'information manque (Tableau 4). Les coefficients varient de 0 à 1, où 0 représente l'absence de perte, tandis que 1 équivaut à une perte de 100% de la production.

Tableau 4 - Coefficients de pertes de productions des différents secteurs agricoles adaptés de la littérature.

Type de production	Coefficient 5mm	Coefficient 50mm	Productions philippines associées	Références
Cultures arboricoles	0.3	1	Cocotiers, Cacaoyers, Bananiers, Manguiers, Pommiers étoilés	(Wilson et al., 2007)
Légumes à racines	0.01	0.32	Manioc, Cacahuètes, Oignons de printemps	(Wilson et al., 2007)
Légumes à feuilles	0.9	1	Chou chinois, Kangkong, Taro	(Wilson et al., 2007)
Légumes à fruits	0.9	1	Haricots verts, Piments, Gombo, Kulthi	(Wilson et al., 2007)
Riz	0.6	0.95	Riz	(Craig et al., 2021)
Maïs	0.6	0.95	Maïs	(Craig et al., 2021)
Oignons	0.33	0.32	Oignons de printemps	(Ligot, 2022; Wilson et al., 2007)
Bovins	0.1	0.57	Carabaos, Vaches, Porcs	(Wilson et al., 2007)
Ovins/Cervidés	0.1	0.63	Lapins, Canards, Poulets, Dindons et productions d'œufs associées	(Wilson et al., 2007)
Poissons	1	1	Tilapias	(Di Prinzio et al., 2021)
Abeilles	0.6	1	Colonie, Miel	(Masciocchi et al., 2013) + témoignage d'un apiculteur recueilli dans le cadre de ce travail (ferme n°5)

En ce qui concerne la volaille et les lapins, par manque de données disponibles dans la littérature nous utilisons les coefficients calculés pour les ovins et les cervidés. En effet, la vulnérabilité des moutons et des cervidés est considérée plus élevée que celle des bovins parce qu'ils broutent plus proches du sol et sont plus sensibles à des problèmes de santé à la suite de l'ingestion de cendres volcaniques (Wilson et al., 2007).

Par manque d'informations au sujet des porcs dans la littérature, nous estimons que leur vulnérabilité est égale à celle des bovins. D'après les interviews, les porcelets sont mis en sécurité lors d'une éruption. Nous considérons donc ici que leur vulnérabilité ne peut pas être plus élevée que celle des bovins. En effet, les porcs sont nourris presque exclusivement

d'aliments concentrés, ce qui suggère une vulnérabilité à un dépôt de téphra inférieure à celle des bovins, nourris uniquement grâce aux pâturages, qui les expose davantage au téphra déposé. Cependant, les témoignages des fermiers recueillis dans le cadre de ce travail indiquent tout de même un impact sur les cochons évalué à un (sur une échelle de un à trois), même lorsque ceux-ci sont mis à l'abri.

Les coefficients utilisés pour les abeilles et les poissons sont estimés sur base des données disponibles dans les interviews et dans la littérature. En effet, après l'éruption de 2011 du volcan Puyehue–Cordon Caulle au Chili, plus aucune guêpe n'était observée pour tout dépôt de cendres supérieur à trois centimètres (Masciocchi et al., 2013). Un coefficient de 1 (soit égal à 100% de pertes) est donc appliqué pour les abeilles dans le cas d'un dépôt de 50 mm. Sous 5 mm de téphra, nous décidons d'estimer le coefficient sur base du témoignage d'un apiculteur récolté dans le cadre de ce travail, qui affirme avoir perdu 60% de sa production de miel lors de la dernière d'éruption. L'agriculteur explique que la cendre qui recouvre les fleurs empêche les abeilles de se nourrir, ce qui menace leur production de miel mais également leur survie. En ce qui concerne les poissons, nous nous basons sur une étude menée à partir des données récoltées à la suite de l'éruption du volcan Chaitén, au Chili en 2008. Cette étude révèle les variations d'abondances de certaines espèces de poissons de rivières ainsi que leur modèle de recolonisation. Après l'éruption, on observait une diminution de population d'environ 100% pour toutes les espèces qui par la suite recolonisaient peu à peu les rivières. Ceci est expliqué notamment par le fait que les poissons de rivière peuvent se mettre à l'abri dans les lacs, les affluents et les sources voisines (Di Prinzio et al., 2021). Or, ceci n'est pas valable pour les poissons de bassin de nos exploitations et nous considérons dès lors le pire scénario possible en attribuant un coefficient de 1 pour des dépôts de 5 et 50 mm.

4.4.2 Détermination des coefficients de saisonnalité

Les activités et les pratiques agricoles sont généralement variables en fonction de la période de l'année, notamment à cause des saisons, des conditions climatiques, des calendriers de semis et de récoltes. C'est ce qu'on entend ici par saisonnalité. La vulnérabilité des systèmes agraires ne sera donc probablement pas la même tout au long de l'année. Nous avons choisi de calculer les pertes subies sur les productions mois par mois car les témoignages récoltés dans le cadre du travail ne nous permettent pas d'atteindre un niveau de précision plus élevé.

4.4.2.1 Saisonnalité des pertes sur les cultures

Il est évident que toutes les cultures (à l'exception des cultures pérennes) ne sont pas sur le champ tout au long de l'année et que leur vulnérabilité dépendra donc du calendrier de cultures spécifique à chaque exploitation. De plus, la vulnérabilité varie en fonction du stade phénologique de la culture (Ligot et al., 2022; Magill et al., 2013). Ainsi, la période de l'année à laquelle survient l'éruption devient un facteur critique dans l'estimation de l'impact des retombées de téphra sur chaque culture. Pour certaines d'entre elles, une fine couche de téphra pourra engendrer une perte de rendement significative si l'éruption se produit pendant

un stade de développement spécifique. Nous avons dès lors pris en compte des coefficients de saisonnalité, établis sur base de la littérature, détaillés ci-dessous (Tableau 5).

Tableau 5 - Coefficients de saisonnalité choisis à partir de la littérature

Types de cultures	Non vulnérable (hors saison)	Relativement vulnérable	Très vulnérable	Références
Cultures arboricoles, légumes à racines, légumes à feuilles, légumes à fruits	0	0.75	1	(Wilson et al., 2007)
Maïs	0	0.85	1	(Craig et al., 2021)
Riz	0	0.77 (5mm) 0.66 (50mm)	1	(Craig et al., 2021)
Oignons	0	0.24 (5mm) 0.75 (50mm)	1	(Ligot, 2022; Wilson et al., 2007)

Nous avons donc ainsi défini trois stades de vulnérabilité : non vulnérable, peu vulnérable et très vulnérable. Bien que Wilson et Kaye, 2007 définissent un coefficient de 0,25 lorsqu'on se trouve en dehors de la période de culture, nous avons décidé d'appliquer un coefficient de 0. En effet, si la culture n'est pas sur le champ au moment de l'éruption il n'y aura pas de pertes, en particulier si celle-ci a été récoltée plus tôt dans l'année. De plus, lorsque deux saisons de culture se succèdent nous ne pouvons pas appliquer un coefficient de 0,25 sur la première récolte alors que la deuxième est déjà sur le champ. Suivant cette logique, nous avons décidé d'appliquer un coefficient de 0 lorsque les cultures ne sont pas sur le champ. Les coefficients associés au stade « peu vulnérable » sont utilisés pour les périodes non critiques du cycle agricole annuel, c'est-à-dire quand les cultures sont plantées mais qu'elles ne sont pas au maximum de leur vulnérabilité. Ces coefficients permettent de diminuer les pertes lors des périodes où la culture est plus résiliente. On utilise un coefficient de 1 lorsqu'on se trouve à des stades de développement critiques de la plante.

Des calendriers ont été créés pour chaque type de cultures retrouvés dans les huit exploitations et les coefficients de saisonnalité y ont été intégrés en fonction des caractéristiques de vulnérabilité spécifiques connues à ce jour (Annexe D). Sur base de la littérature, nous avons considéré que les légumineuses présentaient une vulnérabilité maximale pendant la période de floraison. En ce qui concerne les arbres fruitiers, ils ont été séparés en deux groupes, ceux dont on récolte les fruits tout au long de l'année et pour lesquels la vulnérabilité est considérée comme constante et ceux dont les fruits sont récoltés à une certaine période de l'année. Pour ces derniers, les fermiers semblent avoir donné des périodes de récolte assez longues qui engloberaient même la période de floraison. Nous considérons donc une vulnérabilité maximale à partir de la floraison jusqu'à la récolte. Nous considérons également que les légumes à fruits atteignent leur vulnérabilité maximale à partir de la floraison jusqu'à la récolte. Il faut cependant noter que certaines études post-éruptives affirment que les fermiers considèrent les cultures de légumes à fruits comme vulnérables à tous les stades phénologiques à cause de leur architecture (Ligot et al., 2023). Les légumes à racines (selon la classification du Tableau 3) montrent une vulnérabilité considérablement réduite à partir du moment où les tubercules atteignent leur masse finale et ne manifestent

pas une sensibilité particulière pendant la floraison (Ligot et al., 2023). Il a été montré que les cultures de chou étaient plus vulnérables au stade de plantule qu'au stade mature pour toutes les épaisseurs de téphra (en considérant le stade mature comme le stade où 50% de la masse des feuilles est développée). Pour une épaisseur de dépôt de 5mm, il a été montré que les cultures d'oignons subissaient une perte de rendement plus importante au stade mature qu'au stade de plantule (Ligot, 2022). Pour le maïs, les coefficients utilisés proviennent de l'étude de Craig et al., 2021 afin de correspondre aux coefficients de pertes choisis précédemment. Comme les légumineuses et les arbres fruitiers, les céréales semblent être plus sensibles à l'impact des cendres au stade de la floraison. En effet, les cendres peuvent sécher les soies de maïs et empêcher la fécondation de l'épi, ce qui entrave la formation ultérieure des grains. De plus, des dépôts de plus de 5 mm d'épaisseur provoquent le phénomène de couchage sur les cultures de maïs de manière significative, particulièrement lors de la phase de remplissage des grains (Ligot, 2022). Pour le riz, nous considérons que le stade juvénile est moins vulnérable que le stade mature (Craig et al., 2021).

Les périodes de semis et de récolte des différentes cultures des exploitations étudiées ont été déterminées dans les témoignages recueillis sur le terrain tandis que les périodes de floraison, de maturation des tubercules (dans le cas des légumes à racines) et du riz sont estimées à partir de la littérature (Dickert and Tracy, 2002; "Growth and Yield Performance of Peanut (*Arachis hypogaea*) Lines in Pampanga, Philippines | JPAIR Multidisciplinary Research," 2023; Kulkarni et al., 2011; Lou et al., 2007; Pineda et al., 2020; Richardson, n.d.; Yuan et al., 2009).

Maintenant que les coefficients de saisonnalité pour tous les types de productions ont été établis, il est à noter que nous faisons l'hypothèse que toutes les cultures sont plantées quelle que soit la période d'éruption. Or, on sait grâce aux interviews réalisées que les agriculteurs sont parfois évacués jusqu'à six mois après l'éruption. Si l'éruption se produit avant le semis, il est probable que les agriculteurs ajusteront leur calendrier de cultures ou réduiront la superficie des terres dédiées à certaines cultures en raison des dépôts de téphra. Certaines cultures pourraient être substituées par d'autres ou ne pas être plantées jusqu'à la saison suivante (Ligot et al., 2023).

4.4.2.2 Saisonnalité des pertes sur l'élevage

Wilson et Kaye, 2007 ont développé un coefficient de saisonnalité pour les bovins et pour les ovins/cervidés. Cependant celui-ci ne peut pas être pris en considération dans ce travail dû aux pratiques d'élevage différentes entre la Nouvelle-Zélande et les fermes étudiées autour du Mayon. En effet, les élevages néo-zélandais sont nourris aux concentrés l'hiver ce qui les rend plus résilients face à un potentiel dépôt de téphra tandis qu'au printemps et en été ils sont mis en prairie ce qui les rend plus vulnérables. Or, dans les fermes étudiées dans ce travail, le type de nourriture varie très peu et les bovins, par exemple, restent toute l'année en prairie.

Craig et al., 2021 ont également développé un coefficient en fonction de la concentration de fluor dans les cendres volcaniques. Or, ceci dépasse le cadre de ce travail puisque nous évaluons la vulnérabilité uniquement par rapport au paramètre d'épaisseur de cendres et que

nous ne possédons pas les données de composition des cendres du Mayon. Cependant, pour une analyse plus poussée, il faudrait pouvoir prendre en compte la concentration en fluor des cendres puisque celle-ci est une des causes majeures des pertes de production de l'élevage.

Cependant, nous savons que les fermiers achètent ou font se reproduire les animaux pour ensuite les vendre à différentes périodes de l'année. Dès lors, nous considérons qu'ils sont vulnérables lorsqu'ils sont en possession du fermier. Dès le moment où ils sortent des frontières fixées du système (lorsqu'ils sont vendus, donnés, échangés ou mangés), ils ne sont plus considérés comme vulnérables. Par manque de données plus précises, nous considérons donc un coefficient de saisonnalité de 1 (soit 100% de perte) lorsque les animaux se trouvent dans le système, un coefficient de 0 (soit aucune perte) quand ce n'est pas le cas. Les interviews ne nous permettent pas toujours de savoir exactement combien de temps les animaux restent sur la ferme. On ne connaît pas toujours le mois de naissance et le mois de vente ou de consommation. Dès lors, il est estimé qu'à partir du moment où la portée suivante est née, la portée précédente est vendue, consommée ou devient un actif (c'est-à-dire un bien appartenant à l'exploitation et possédant une valeur financière mais qui n'est plus considéré comme une production annuelle dans l'analyse de la vulnérabilité, voir point 4.2.3). De plus, lorsqu'il n'est pas du tout possible d'estimer à quels mois les animaux sont présents sur la ferme nous estimons le pire scénario possible en appliquant un coefficient de 1 pour tous les mois.

4.4.3 Détermination des pertes sur les actifs

Les dépôts de cendres peuvent également impacter les actifs des exploitations. Le terme actif est à interpréter ici comme une ressource économique appartenant à l'exploitation et qui est détenue pour une période prolongée, généralement au-delà d'un an. Le terme précis en comptabilité est « actif immobilisé ». Nous avons déjà expliqué plus haut comment nous calculions les pertes sur les productions annuelles qui seront donc consommées ou converties en espèces en moins d'un an. Dans le cas de l'élevage, les actifs désignent les prairies, les équipements et les bâtiments utilisés pour la production animale. Les pertes des actifs liés aux cultures sont les dommages sur la fertilité du sol, les infrastructures, les équipements de production ou encore la destruction des arbres dans le cas des cultures pérennes (Wilson et al., 2007).

Les données issues des témoignages sur le terrain et de la littérature ne nous permettent pas de calculer les pertes sur tous ces types d'actifs à la suite de dépôts de téphra de 5 et 50mm. Nous déterminons uniquement dans ce travail les pertes d'actifs liés aux cultures pérennes. Cette perte représente la perte d'arbres et donc les pertes induites sur les récoltes des années suivantes. Nous appliquerons donc un coefficient de pertes des actifs (Wilson and Kaye, 2007) sur le nombre d'arbres initialement présents sur l'exploitation (équation (5)) Ensuite nous calculerons la perte de production que cela représente en multipliant le nombre d'arbres perdus par la production vendue par arbre par an $[PHP/arbre \cdot an]$ et par le temps de renouvellement (équation (6)). Le temps de renouvellement est la période nécessaire pour

qu'une plantule (achetée ou obtenue par reproduction naturelle) se développe et atteigne le stade où une récolte est possible.

$$\text{Nombre d'arbres perdus} = \text{Coef. de perte sur les actifs} \times \text{Nombre d'arbres initial} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{Pertes sur } x \text{ année [PHP]} \\ = \text{Nombre d'arbres perdus} \times \text{Production vendue par arbre par an} \quad (6) \\ \times \text{Temps de renouvellement} \end{aligned}$$

Les coefficients de pertes sur les actifs pour les arbres fruitiers sont de 0.02 pour un dépôt de téphra 5 mm et de 0.14 sous un dépôt de téphra de 50 mm (Wilson et Kaye, 2007). Les temps de renouvellement des arbres ont été estimés sur base de la littérature (Tableau 6).

Tableau 6 - Coefficients de pertes sur les actifs et temps de renouvellement des cultures pérennes retrouvées dans les exploitations étudiées

Types d'arbre	Coefficients 5mm	Coefficients 50mm	Temps de renouvellement [an]
Cocotiers	0.02	0.14	6
Bananiers	0.02	0.14	1
Pommiers étoilés	0.02	0.14	4
Manguiers	0.02	0.14	6
Cacaoyers	0.02	0.14	3

5. Résultats

Dans cette section du travail, nous présentons pour chaque ferme : un modèle conceptuel réalisé sur le logiciel *Gephi*, une analyse économique de la situation de l'exploitation au moment des interviews, l'estimation des pertes sur les revenus des productions en fonction du mois de l'année et l'estimation des pertes sur les actifs pour des épaisseurs de dépôt de téphra de 5 et 50 mm. Nous tentons également d'estimer qualitativement les répercussions de ces pertes sur le reste du système.

5.1 Exploitation n°1

5.1.1 Description du système agricole sans dépôts de téphra

L'exploitation n°1 (Annexe C ; Figure 43) est située dans le barangay de Tandarora qui se trouve dans la municipalité de Guinobatan. Ce système agricole possède un sous-système de culture et un sous-système d'élevage qui sont dépendants l'un de l'autre (Figure 14).

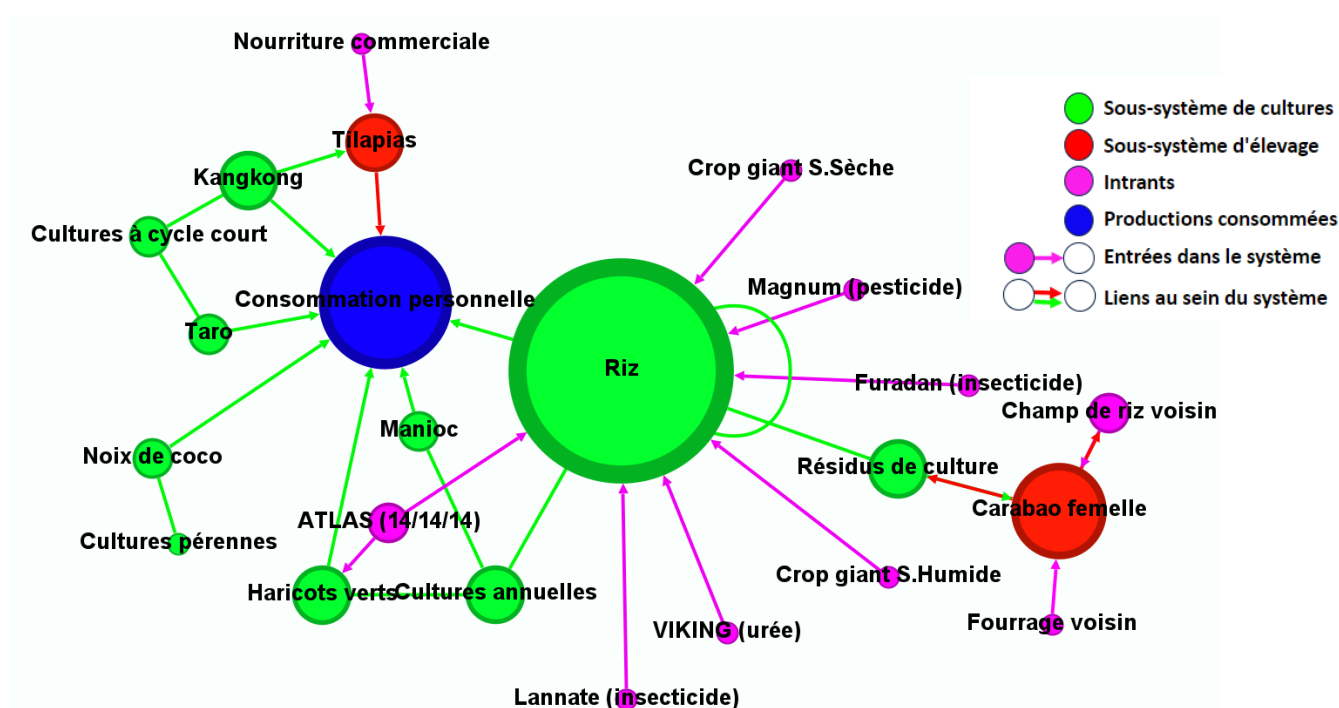


Figure 14 - Modèle conceptuel de l'exploitation n°1 réalisé sur le logiciel Gephi

Le champ de riz occupe une surface de 0,5 hectare et est entouré de 15 cocotiers. D'autres cultures annuelles, comme du manioc et des haricots verts, sont également exploitées. Des plants de taro et de kangkong poussent également sur la propriété. Cependant, aucune des productions n'est vendue ; elles sont destinées à la consommation du ménage ou des animaux. La production la plus conséquente est celle de riz, suivie de celle de noix de coco. 97,13% des coûts de production totaux sont engendrés par la production de riz (Tableau 7). Ceux-ci sont liés à l'achat de fertilisants et de produits phytosanitaires ainsi qu'à l'emploi de main d'œuvre.

En ce qui concerne le sous-système d'élevage, il est composé d'une carabao femelle et de 100 tilapias. La carabao femelle n'appartient pas au propriétaire de l'exploitation mais il en prend soin pour quelqu'un d'autre. Cependant, il s'en sert comme animal de labour aussi bien pour sa propre terre que lorsqu'il est engagé comme ouvrier agricole. La carabao se trouve la plus grande partie de l'année en prairie (2 ha) mais elle passe quatre jours par an sur le champ de riz de l'exploitation n°1, deux après chaque récolte et huit jours par an sur le champ de riz d'un voisin après récolte. Cette brève interaction constitue les seuls liens entre les sous-systèmes d'élevage et de cultures de cette exploitation. En effet, les déjections de la carabao sont laissées sur le champ lorsqu'elle s'alimente des résidus de culture. Les tilapias sont nourris soit de kangkong, qui pousse sur la propriété, soit de nourriture achetée dans le commerce. La dernière pêche date de 2021 et était constituée de 40 poissons.

Tableau 7 - Résumé des productions (en kg/an et PHP/an) annuelles de l'exploitation n°1, ainsi que leurs coûts et revenus associés. Sont également présentés le pourcentage des coûts totaux que chaque activité représente.

Système de culture	Production [kg/an]	Valeur fictive brute [PHP/an]	Coûts [PHP/an]	Valeur fictive nette [PHP/an]	%Coûts
Cultures pérennes					
Noix de coco	316	2610	0	2610	0
Cultures annuelles					
Haricots verts	1	30	24	6	0,15
Manioc	10	185	0	185	0
Riz	2250	31050	16085	14965	97,13
Cultures à cycle court					
Kangkong	18	90	0	90	0
Feuilles de taro	36	54	0	54	0
Système d'élevage					
Carabao femelle	/	0	0	0	0
Tilapias	13,2	4670	450	4220	2,72
TOTAL	/	38689	16559	22130	/

Comme l'indique le revenu net agricole négatif, les propriétaires de la ferme perdent de l'argent en exploitant (Tableau 8). Le total de leurs productions à une valeur fictive nette de 22 130 PHP/ an et elle est uniquement destinée à la consommation personnelle. L'entièreté de leur revenu provient du travail d'ouvrier agricole que le propriétaire effectue et qui lui rapporte 8800 PHP/an. Le revenu des propriétaires reste cependant négatif au total. Le fermier déclare dans l'interview qu'un de ses enfants, qui travaille à l'étranger, lui envoie parfois de l'argent. Il est légitime de se questionner sur la viabilité du ménage, dont le revenu net est négatif. Il est possible que le travail de l'agriculteur en tant qu'ouvrier lui rapporte certaines années un peu plus qu'en 2022, ou que le ménage ait d'autres sources de revenus qui n'ont pas été mentionnées lors des interviews.

Tableau 8 - Récapitulatif de la situation économique du ménage de l'exploitation n°1 sur une année

Récapitulatif économique	[PHP]	[%] /revenu (brut ou net) total du ménage
Valeur brute fictive	38689	
Valeur nette fictive	22130	
Revenu brut agricole	0	0
Dépenses agricoles	16559	
Revenu net agricole	-16559	/
Autres rentrées d'argent brutes	8800	100
Autres dépenses	0	
Autre net	8800	/
Revenu brut total du ménage	8800	
Dépenses totales du ménage	16559	
Revenu net total du ménage	-7759	

5.1.2 Détermination des pertes directes sur les productions pour des dépôts de téphra d'épaisseur de 5 et 50 mm

Les pertes de valeur fictive [PHP], les pertes de revenu brut [PHP] ainsi que les pertes de production [kg] sous des dépôts de téphra d'une épaisseur de 5 et 50 mm ont été calculées pour l'exploitation n°1 en fonction du type de culture et du mois de l'année (Annexe E). Puisque l'exploitation ne vend aucune de ses productions, les pertes totales de l'exploitation seront analysées en termes de valeur fictive [PHP] contrairement aux autres exploitations que nous analyserons en termes de pertes de revenus bruts. À la suite d'un dépôt de téphra de 5 mm, la perte de valeur fictive varie entre 1970 PHP (5%) et 11 298 PHP (32%). Dans le cas d'un dépôt de téphra de 50 mm, la perte de valeur fictive varie entre 2206 PHP (6%) et 17 919 PHP (50%) On observe que les pertes les plus élevées apparaissent aux mois de mars, avril, octobre et novembre. Alors que les pertes les plus faibles ont lieu aux mois de mai, juin, juillet et décembre (Figure 15).

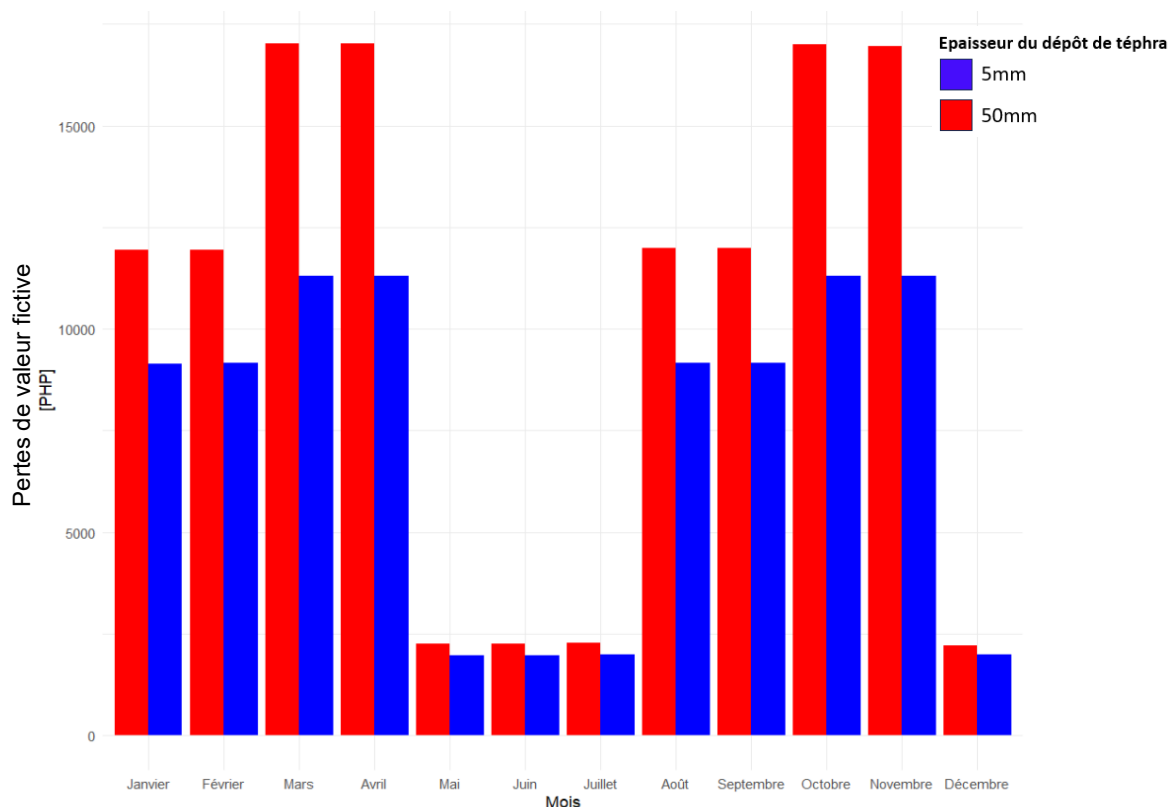


Figure 15 - Pertes de valeur fictive [PHP] sous des dépôts de téphra de 5 et 50 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°1

Aux mois de mars et d'avril, la perte de production en valeur fictive [PHP] la plus conséquente est celle du riz de la saison sèche (82%), suivie de celle des tilapias (17%) et des noix de coco (1%) (Figure 16). Aux mois d'octobre et de novembre, on observe la même répartition mais avec le riz de la saison humide. Aux mois de mai, juin, juillet et décembre le champ de riz se trouve entre deux saisons et ne présente pas de pertes. Les tilapias occupent alors la plus grande part des pertes de valeur fictive (95%) (Figure 16). Les mêmes graphiques ont été réalisés dans le cas d'un dépôt de téphra de 50mm et sont disponibles à l'Annexe F.

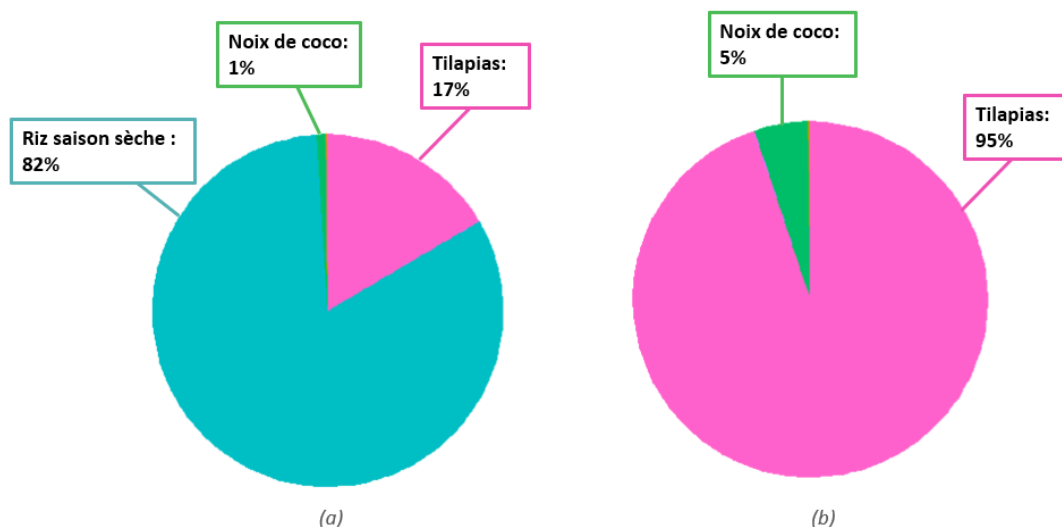


Figure 16 - Parts de chaque production dans la perte de valeur fictive brute totale sous 5 mm aux mois de mars et d'avril (a) et aux mois de mai et juin (b) pour l'exploitation n°1

5.1.3 Détermination des pertes d'actifs

Dans le cas de l'exploitation n°1 nous calculons la perte sur les actifs sur base de la valeur fictive générée par les arbres sur un an puisqu'aucune des productions n'est vendue. Les pertes sur les actifs s'étendront sur une période de six ans, qui correspond au temps de renouvellement des cocotiers (Lamanda et al., 2008). Lorsqu'ils sont soumis à un dépôt de téphra de 5 mm, aucun arbre de cette exploitation ne meurt : les pertes sur les actifs des cultures pérennes sont nulles. Exposés à un dépôt de 50 mm, nous avons estimé que deux arbres sur les quinze sont perdus, ce qui correspond à une perte de 42 kg/an, soit 2088 PHP sur six ans, si le prix des noix de coco reste stable sur ces six années. Ces pertes ne prennent pas en compte les coûts supplémentaires nécessaires au rachat de nouveaux plants pour remplacer les arbres perdus.

5.1.4 Détermination qualitative des coûts secondaires engendrés par les pertes de productions

Toute la perte de production, qui à l'origine devait être consommée par le ménage, devra être compensée par l'achat de nourriture à l'extérieur de la ferme. De plus, puisque les pâturages seront en partie, voire totalement, pollués par la cendre, le propriétaire devra nourrir la carabao avec de la nourriture achetée dans le commerce en attendant que les pâturages soient à nouveau propres à la consommation. Les feuilles de kangkong qui sont données aux tilapias devront potentiellement également être remplacées par des achats plus conséquents de nourriture commerciale (Figure 14). Cependant, il est à noter qu'en calculant la perte de valeur fictive, nous prenons déjà en compte la valeur « perdue » sur la production de kangkong et sur les productions à destination de la consommation personnelle. En réalité, dans le cas de cette exploitation, l'argent réellement perdu par les propriétaires proviendra des coûts supplémentaires engendrés par l'éruption plutôt que d'une perte de revenus.

5.2 Exploitation n°2

5.2.1 Description du système agricole sans dépôts de téphra

L'exploitation n°2 (Annexe C ; Figure 44) est située dans le barangay de Maninila qui se trouve dans la municipalité de Guinobatan. Il est composé d'un sous-système de culture et d'un sous-système d'élevage qui sont en interaction (Figure 17).

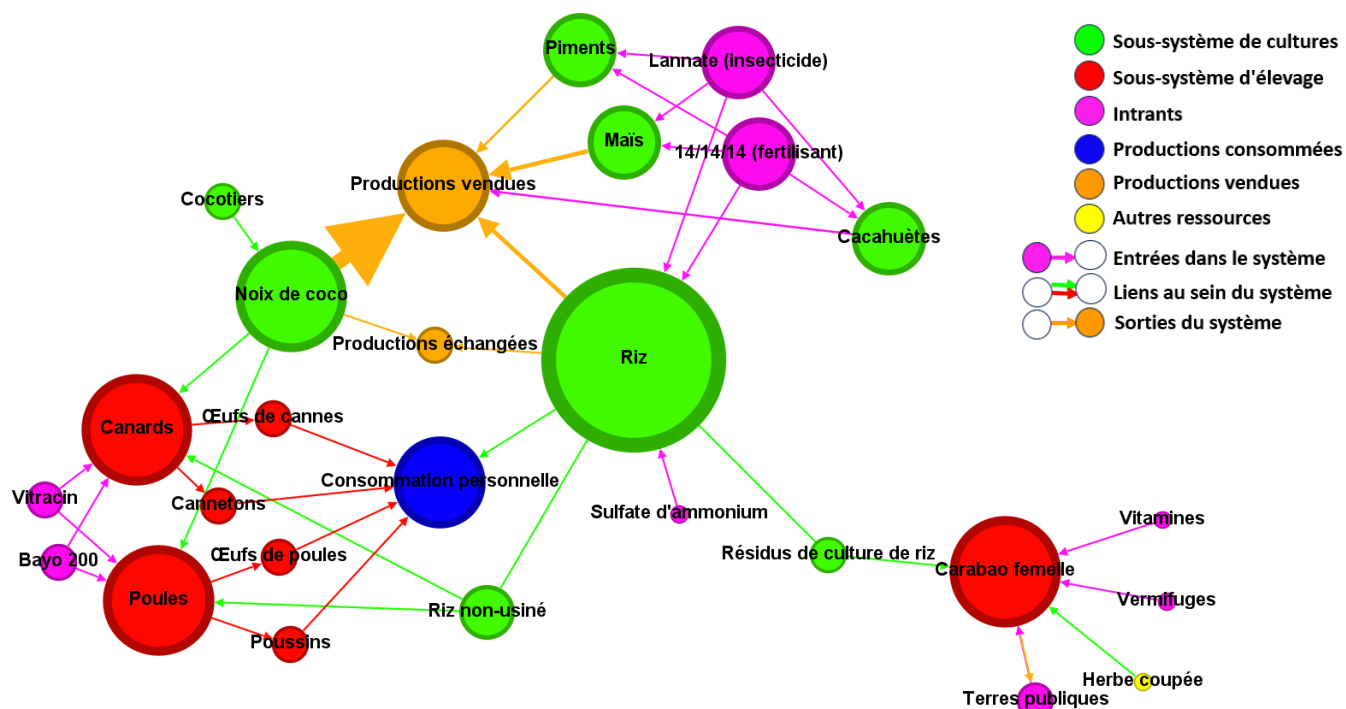


Figure 17 - Modèle conceptuel de l'exploitation n°2 réalisé sur le logiciel Gephi

Le système de culture est composé d'une culture de cocotiers de six ha (environ 386 arbres). Ils cultivent deux champs de riz de 0,75 et 2 ha. Le champ de deux ha appartient au capitaine du barangay et les agriculteurs perçoivent 10% des revenus de la récolte. Ils cultivent également des cacahuètes, du maïs et des piments sur une parcelle de 0,25 ha. 41,34% des coûts de l'exploitation sont engendrés par la production de noix de coco et 54,62% par la production de riz (Tableau 9). Ces coûts sont engendrés par l'emploi de main d'œuvre, l'achat de fertilisants et de produits phytosanitaires. Le revenu agricole net le plus important est généré par la culture de cocotiers (45 600 PHP).

Le système d'élevage est composé d'un carabao femelle et d'un élevage de poules et de canards. Les animaux ne rapportent pas d'argent car les productions de poussins et de cannetons sont utilisées pour la consommation personnelle du ménage. Le carabao est utilisé pour le labour dans la ferme mais également lorsque le propriétaire est engagé comme ouvrier agricole dans d'autres exploitations.

Tableau 9 - Résumé des productions (en kg/an et PHP/an) annuelles de l'exploitation n°2, ainsi que leurs coûts et revenus associés. Sont également présentés le pourcentage des coûts totaux et des revenus bruts et nets que chaque production représente.

Système de culture	Production [kg/an]	Revenus bruts [PHP/an]	Coûts [PHP/an]	Revenus nets [PHP/an]	%Bruts	%Coûts	%Nets
Cultures pérennes							
Noix de coco	27300	84000	38400	45600	69,83	41,34	166,42
Cultures annuelles							
Riz	14250	15000	50733	-35733	12,47	54,62	-130,41
Maïs	658	16458	57	16402	13,68	0,06	59,86
Cacahuètes	138	1836	117	1719	1,53	0,13	6,27
Piments	60	3000	453	2547	2,49	0,49	9,29
Système d'élevage							
Cannetons	45	0	1416	-1416	0	1,52	-5,17
Œufs de cannes	2	0	0	0	0	0	0
Poussins	45	0	1719	-1719	0	1,85	-6,27
Œufs de poules	2	0	0	0	0	0	0
Carabao femelle	/	0	0	0	0	0	0
TOTAL		120294	92894	27400	/	/	/

Le revenu agricole net de l'exploitation est de 27 400 PHP/an. Ce qui représente seulement 30% des revenus du ménage. En effet, les propriétaires exercent d'autres activités professionnelles en dehors de la ferme (ouvrier agricole, ouvrier dans la construction et cuisinière) (Tableau 10).

Tableau 10 - Récapitulatif économique de la situation du ménage de l'exploitation n°2 sur une année

Récapitulatif économique	[PHP]	[%] /revenu (brut ou net) total du ménage
Valeur brute fictive	477414	
Valeur nette fictive	384188	
Revenu brut agricole	120294	65
Dépenses agricoles	92894	
Revenu net agricole	27400	30
Autres rentrées d'argent brutes	64200	35
Autres dépenses	0	
Autre net	64200	70
Revenu brut total du ménage	184494	
Dépenses totales du ménage	92894	
Revenu net total du ménage	91600	

5.2.2 Détermination des pertes directes sur les productions pour des dépôts de téphra d'épaisseur de 5 et 50 mm

Les pertes de valeur fictive et de revenus bruts [PHP] ainsi que les pertes de productions en [kg] après un dépôt de 5 et 50 mm de téphra ont été calculées pour l'exploitation n°2 en fonction du type de culture et du mois de l'année (Annexe E). Nous analyserons les pertes en termes de pertes de revenus bruts [PHP].

Pour un dépôt de téphra de 5 mm, la perte maximale de revenus est observée si l'éruption se produit au mois de septembre et a une valeur de 17 445 PHP (14 %). La perte minimale est

observée pour le mois d'avril et de mai et a une valeur de 4 537 PHP (4%). Sous une couche de téphra de 50 mm, les pertes de revenus maximum et minimum sont observées pour les mêmes mois mais ont des valeurs de 35 231 PHP (29%) et 14 375 PHP (12%), respectivement (Figure 18).

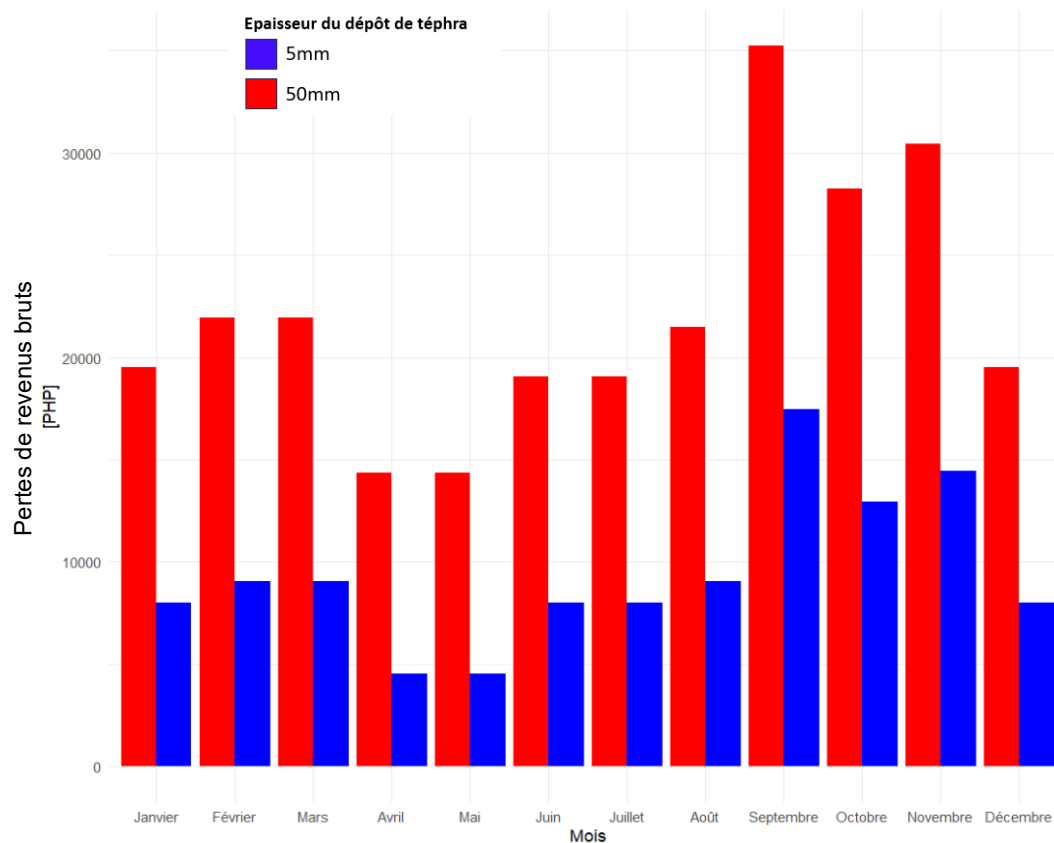


Figure 18 - Pertes de revenus bruts [PHP] de l'exploitation n°2 en fonction du mois de l'année et de l'épaisseur de téphra

Au mois de septembre, la culture la plus impactée en termes de revenus est celle de maïs (48%), suivie de celle de riz (26%). En effet, à cette période de l'année, la culture de maïs vient d'être plantée et la culture de riz est au pic de sa vulnérabilité. Ce qui explique le fait que le mois de septembre soit le plus impacté par le dépôt de cendres. Bien que les récoltes de noix de coco soient celles qui génèrent le plus de revenus bruts sur l'année, la perte de revenus sur la récolte du mois de décembre est moins significative que la perte de revenus subie par les cultures de riz et de maïs. Au mois d'avril et de mai, le riz et le maïs sont en dehors de leur saison de culture et ce sont les récoltes de piments et de noix de coco qui subissent le plus de pertes. Ces pertes sur les récoltes sont responsables de 7% et 93%, respectivement, de la perte de revenus bruts totale des mois d'avril et de mai (Figure 19).

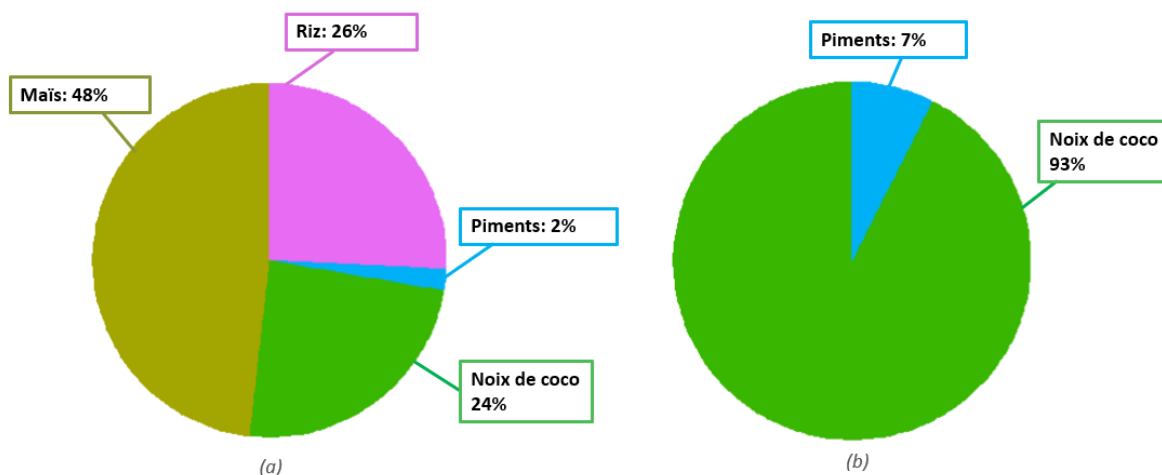


Figure 19 - Parts des pertes de revenus bruts générées par les productions sous 5 mm au mois de septembre (a) et aux mois d'avril et de mai (b) pour l'exploitation n°2

5.2.3 Détermination des pertes d'actifs

Les pertes sur les actifs s'étaleront sur une période de six ans qui correspond au temps de renouvellement des cocotiers (Lamanda et al., 2008). Après un dépôt de téphra de 5 mm, huit arbres sont considérés morts, ce qui revient à une perte de 566 kg/an, soit 10 446 PHP sur six ans en estimant que le prix de la coco reste stable pendant ces six années. A la suite d'un dépôt de 50 mm, on estime que 54 arbres sur les 386 arbres sont perdus, ce qui correspond à une perte de 3819 kg/an soit 70 508 PHP sur six ans. Ces pertes ne prennent pas en compte les coûts supplémentaires nécessaires au rachat de nouveaux plants pour remplacer les arbres perdus.

5.2.4 Détermination qualitative des coûts secondaires engendrés par les pertes de productions

La production qui était destinée à la consommation personnelle devra être remplacée par de la nourriture achetée dans le commerce. La carabao qui était nourrie exclusivement au pâturage et à l'herbe coupée devra certainement être nourrie grâce à des concentrés achetés dans le commerce puisque les prairies seront contaminées par la cendre. Les cultures de riz et de noix de coco sont utilisées comme nourriture pour les poules et les canards (Figure 17). Si ces cultures sont atteintes, le fermier devra sûrement compenser les pertes en achetant plus de Bayo 200 dans le commerce, celui ayant un coût de 39 PHP/kg.

5.3 Exploitation n°3

5.3.1 Description du système agraire sans dépôts de téphra

L'exploitation n°3 (Annexe C ; Figure 45) se situe dans le barangay de Tumpa qui se trouve dans la municipalité de Camalig. Elle est composée d'un système de cultures et d'un système d'élevage dépendants l'un de l'autre (Figure 20).

Tableau 11 - Résumé des productions (en kg/an et PHP/an) annuelles de l'exploitation n°3, ainsi que leurs coûts et revenus associés. Sont également présentés le pourcentage des revenus bruts et nets et des coûts totaux que chaque production représente.

Système de culture	Production [kg/an]	Revenus bruts [PHP/an]	Coûts [PHP/an]	Revenus nets [PHP/an]	%Bruts	%Coûts	%Nets
Cultures pérennes							
Noix de coco	11700	117000	33600	83400	16,63	9,89	22,92
Cultures annuelles							
Chou chinois	300	1000	7698	-6698	0,14	2,27	-1,84
Haricots "baggy"	360	0	250	-250	0	0,07	-0,07
Haricots verts	500	0	0	0	0	0	0
Riz	9450	89889	97276	-7388	12,78	28,64	-2,03
Piments	48000	6000	3150	2850	0,85	0,93	0,78
Système d'élevage							
Carabao femelle	0	0	16500	-16500	0	4,86	-4,53
Petit carabao	178	6667	800	5867	0,95	0,24	1,61
Truie	0	0	3650	-3650	0	1,07	-1
Porcelets	182	104000	17320	86680	14,78	5,1	23,82
Porcelets engraisés	1760	356500	142120	214380	50,67	41,84	58,91
Vaches	0	0	16500	-16500	0	4,86	-4,53
Veaux	980	22500	800	21700	3,2	0,24	5,96
TOTAL	/	703556	339664	363891	/	/	/

Le revenu agricole net de l'exploitation est de 363 891 PHP/an, ce qui représente 67% du revenu net total du ménage qui exerce d'autres activités professionnelles comme un poste de conseiller au barangay (Tableau 12).

Tableau 12 - Récapitulatif de la situation économique du ménage de l'exploitation n°3 sur une année

Récapitulatif économique	[PHP]	[%] /revenu (brut ou net) total du ménage
Valeur brute fictive	29692867	
Valeur nette fictive	29181135	
Revenu brut agricole	703556	80
Dépenses agricoles	339664	
Revenu net agricole	363891	67
Autres rentrées d'argent brutes	177900	20
Autres dépenses	0	
Autre net	177900	33
Revenu brut total du ménage	881456	
Dépenses totales du ménage	339664	
Revenu net total du ménage	541791	

5.3.2 Détermination des pertes directes sur les productions pour des dépôts de téphra d'épaisseur de 5 et 50 mm

Les pertes de productions [kg], les pertes de revenus bruts [PHP] et les pertes de valeur fictive en [PHP] sous des couches de 5 et 50 mm de téphra ont été calculées pour l'exploitation n°3

en fonction du type de culture et du mois de l'année (Annexe E). Nous analyserons les pertes en termes de pertes de revenus bruts.

La vulnérabilité semble relativement constante de janvier à août et devient plus faible à partir du mois de septembre. Sous une couche de téphra de 5 mm, la perte maximale de revenus est observée si l'éruption se produit au mois de février et a une valeur de 64 989 PHP (9%) (Figure 21). La perte minimale est observée pour le mois de novembre et a une valeur de 15 337,5 PHP (2%). Sous une couche de téphra de 50 mm, les pertes de revenus maximum et minimum sont observées pour les mêmes mois mais ont des valeurs de 220 810,5 PHP (31%) et 47 250 PHP (7%), respectivement.

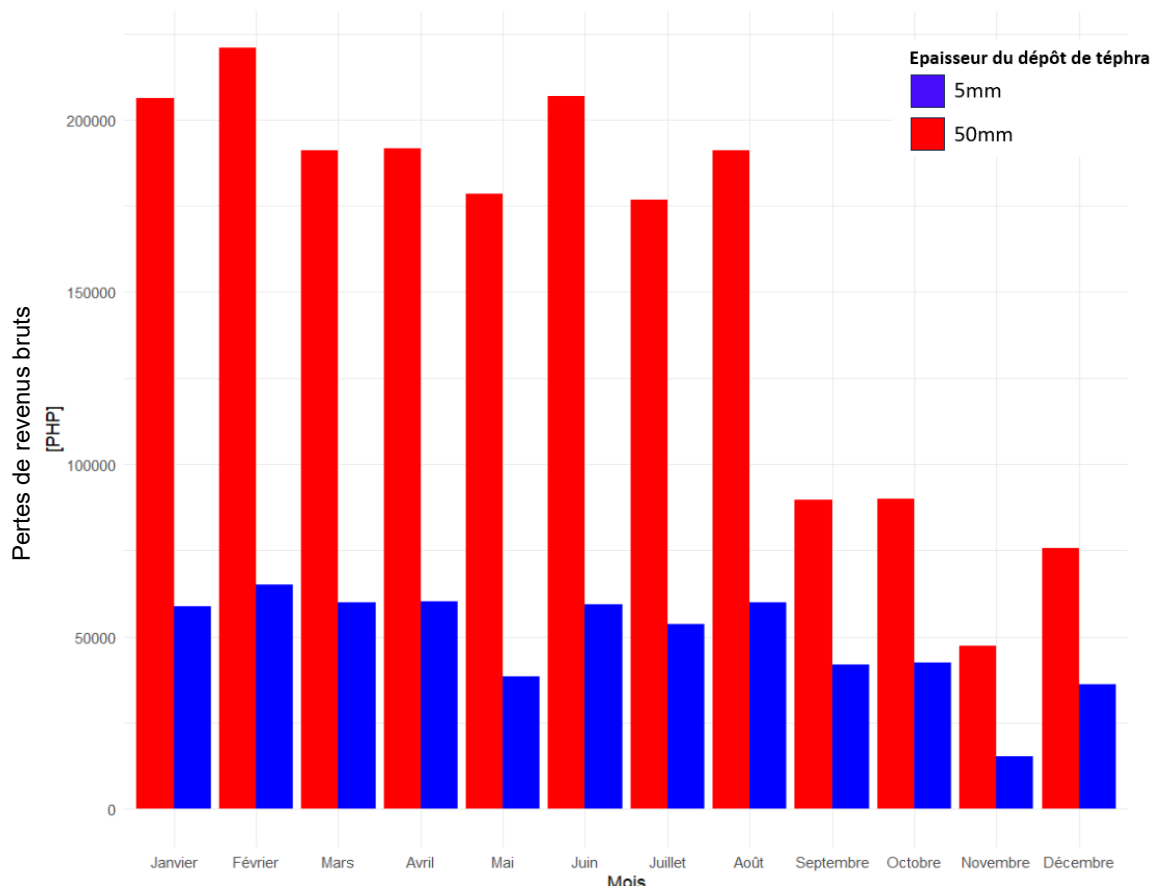


Figure 21 - Pertes de revenus bruts [PHP] de l'exploitation n°3 en fonction du mois de l'année et de l'épaisseur de téphra

Au mois de février, les champs de riz sont au pic de leur vulnérabilité et une portée de porcelets se trouvent sur la ferme, ce qui augmente la vulnérabilité totale de la ferme. La somme des parts qu'occupent ces productions dans la perte de revenus bruts totale est supérieure à 50% (Figure 22, (a)). Au mois de novembre, l'exploitation se trouve entre deux cultures de riz et n'élève pas de porcelets à cette période de l'année. Dès lors, les pertes de revenus bruts les plus importantes sont celles de la culture de noix de coco et de piments qui représentent des revenus nettement moins importants et qui sont vulnérables tout l'année. Ce qui explique pourquoi la ferme est moins vulnérable au mois de novembre.

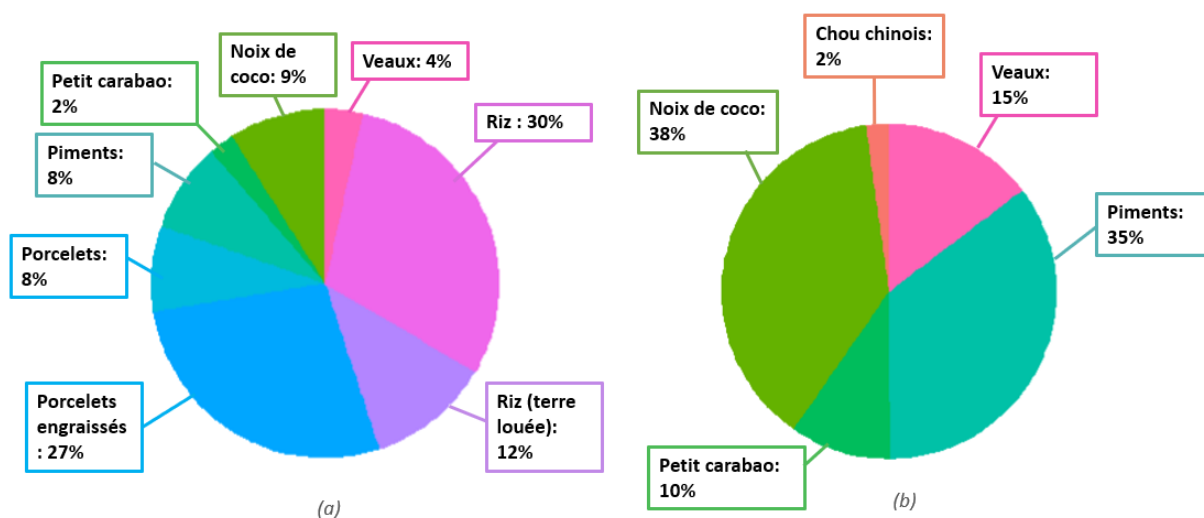


Figure 22 - Parts des pertes de revenus bruts des différentes productions sous 5mm de téphra au mois de février (a) et au mois de novembre (b)

5.3.3 Détermination des pertes d'actifs

Les pertes sur les actifs s'étaleront sur une période de six ans qui correspond au temps de renouvellement des cocotiers (Lamanda et al., 2008). Sous une couche de cendres de 5 mm, deux arbres sont considérés morts, ce qui est égal à une perte de 234 kg/an, soit 14 040 PHP sur 6 ans. Sous 50mm, on estime que 14 arbres sur les quinze sont perdus, ce qui correspond à une perte de 1638 kg/an, soit 98 280 PHP sur six ans. Ces pertes ne prennent pas en compte les coûts supplémentaires nécessaires au rachat de nouveaux plants pour remplacer les arbres perdus.

5.3.4 Détermination qualitative des coûts secondaires engendrés par les pertes de productions

La part des productions qui devait initialement être consommée par le ménage devra être remplacée par l'achat de nourriture dans le commerce ou une partie de la production vendue devra servir à la consommation personnelle. Ceci augmentera les coûts ou diminuera encore le revenu selon les choix du fermier. Les vaches et les carabaos, exclusivement nourris par le pâturage et les résidus de cultures devront probablement être nourris avec de la nourriture industrielle qui engendrera des coûts supplémentaires. Le son de riz ne pourra peut-être plus être donné aux porcs et dès lors la nourriture industrielle qui leur est donnée devra compenser. Le champ de riz ne pourra probablement pas être fertilisé par les déjections de porcs, de vaches et de carabaos et il faudra peut-être le fertiliser à l'aide de fertilisants inorganiques industriels si le fermier ne juge pas l'apport de cendres comme suffisant (Figure 20).

5.4 Exploitation n°4

5.4.1 Description du système agricole sans dépôts de téphra

L'exploitation n°4 (Annexe C ; Figure 46) se situe dans le barangay de Tumpa qui se trouve dans la municipalité de Camalig. Les systèmes de cultures et d'élevage y sont en interactions notamment par le biais d'un fertilisant naturel qui est créé à partir des déjections de bovins et de coques de riz. Ce fertilisant est ensuite utilisé sur les cultures de légumes (Figure 23).

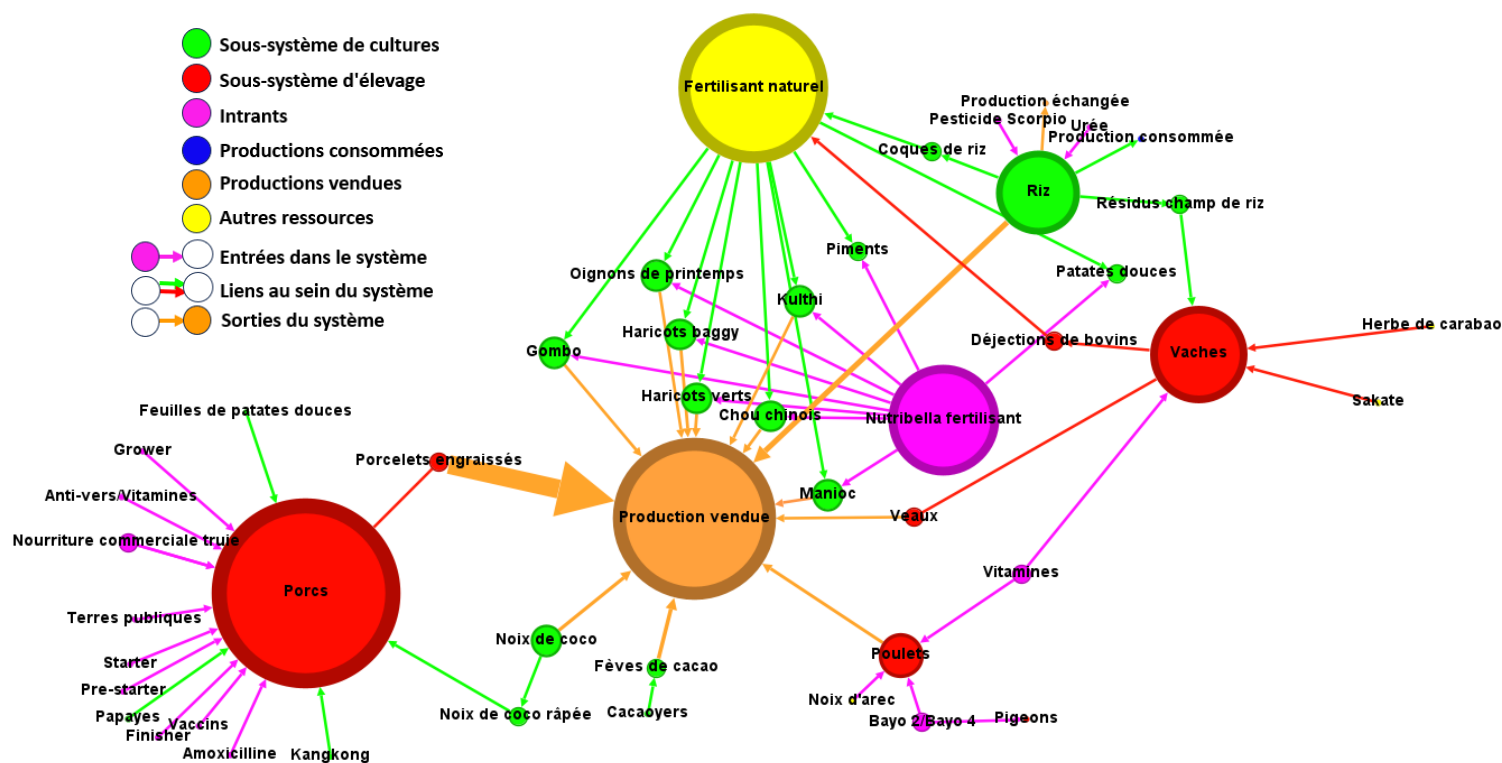


Figure 23 - Modèle conceptuel de l'exploitation n°4 réalisé sur le logiciel Gephi

Le système de cultures est composé de 80 cacaoyers, 19 cocotiers, 0,75 hectare de riz et 1/8 d'hectare où diverses cultures de légumes sont plantées (chou chinois, gombo, haricots « baggy », haricots verts, kulthi, manioc, patates douces, piments et oignons de printemps). Les productions de fèves de cacao et de riz génèrent le plus de revenus nets (14,48% et 11,89%). Cependant la production de riz génère des coûts assez importants (11,87%) majoritairement dus à l'achat de fertilisant et à l'emploi de main d'œuvre (Tableau 13).

Le système d'élevage est composé de pigeons, d'un élevage de porcelets engraisés, d'un élevage de veaux et d'un élevage de poussins. La vente de porcelets engraisés représente plus de la moitié du revenu net agricole total (68,95%). La vente des veaux génère également un revenu net positif tandis que le reste des animaux coûtent à l'exploitation soit parce qu'ils ne génèrent pas de productions (pigeons, truie, vache, poules et coqs) soit parce les coûts sont trop importants par rapport à la valeur des productions (poussins) (Tableau 13).

Tableau 13 - Résumé des productions (en kg/an et PHP/an) annuelles de l'exploitation n°4, ainsi que leurs coûts et revenus associés. Sont également présentés le pourcentage des revenus bruts et nets et des coûts totaux que chaque production représente.

Système de culture	Production [kg/an]	Revenus bruts [PHP/an]	Coûts [PHP/an]	Revenus nets [PHP/an]	%Bruts	%Coûts	%Nets
Cultures pérennes							
Cacaoyers	60	26150	8765	17385	4,89	2,11	14,48
Noix de coco	1365	15015	9720	5295	2,81	2,34	4,41
Cultures annuelles							
Chou chinois	200	4000	667	3333	0,74	0,16	2,77
Gombo	50	2750	667	2083	0,51	0,16	1,73
Haricots "baggy"	100	5500	667	4833	1,03	0,16	4,02
Haricots verts	140	4200	667	3533	0,78	0,16	2,94
Kulthi	10	200	667	-467	0,04	0,16	-0,04
Manioc	50	925	667	258	0,17	0,16	0,21
Patates douces	/	0	667	-667	0	0,16	-0,55
Piments	/	0	667	-667	0	0,16	-0,55
Oignons de printemps	23	1350	667	683	0,25	0,16	0,57
Riz	8600	63480	49200	14280	11,87	11,87	11,89
Système d'élevage							
Pigeons	0	0	9386	-9386	0	2,26	-7,82
Truie	0	0	192	-192	0	0,046	-0,16
Porcelets engraisés	2790	390600	307800	82800	73,05	74,23	68,95
Vache	0	0	100	-100	0	0,024	-0,083
Veaux	942	11538	0	11538	2,16	0	9,61
Poules et coqs	0	0	939	-939	0	0,22	-0,78
Poussins	88	9000	22526	-13526	1,68	5,43	-11,26
TOTAL	/	534708	414627	120081	/	/	/

Le revenu net agricole de cette exploitation représente 100% des revenus du ménage car celui-ci n'exerce pas d'autre activité professionnelle en dehors de l'exploitation (Tableau 14).

Tableau 14 - Récapitulatif de la situation économique du ménage de l'exploitation n°4 sur une année

Récapitulatif économique	[PHP]	[%] /revenu (brut ou net) total du ménage
Valeur brute fictive	578628	
Valeur nette fictive	173387	
Revenu brut agricole	534708	100
Dépenses agricoles	414627	
Revenu net agricole	120081	100
Autres rentrées d'argent brutes	0	0
Autres dépenses	0	
Autre net	0	0
Revenu brut total du ménage	534708	
Dépenses totales du ménage	414627	
Revenu net total du ménage	120081	

5.4.2 Détermination des pertes directes sur les productions pour des dépôts de téphra d'épaisseur de 5 et 50 mm

Les pertes de productions en [kg], les pertes de revenus bruts [PHP] ainsi que les pertes de valeur fictive en [PHP] sous des couches de 5 et 50 mm de téphra ont été calculées pour l'exploitation n°4 en fonction du type de culture et du mois de l'année. Nous analyserons les pertes en termes de pertes de revenus bruts.

On peut observer que les pertes de revenus bruts varient beaucoup moins au cours de l'année pour l'exploitation n°4 et ceci est sûrement dû au fait que les cultures de riz s'enchaînent sur le champ contrairement aux autres exploitations pour lesquelles les champs de riz sont au repos un ou deux mois entre les deux saisons de riz. Sous une couche de téphra de 5 mm, la perte maximale de revenus est observée si l'éruption se produit au mois de novembre et a une valeur de 47 102 PHP (9%). La perte minimale est observée au mois de janvier et a une valeur de 36 241 PHP (7%). Sous une couche de téphra de 50 mm, les pertes de revenus bruts maximales et minimales sont observées pour les mêmes mois et ont des valeurs respectives de 147 815 PHP (28%) et 130 363 PHP (24%) (Figure 24).

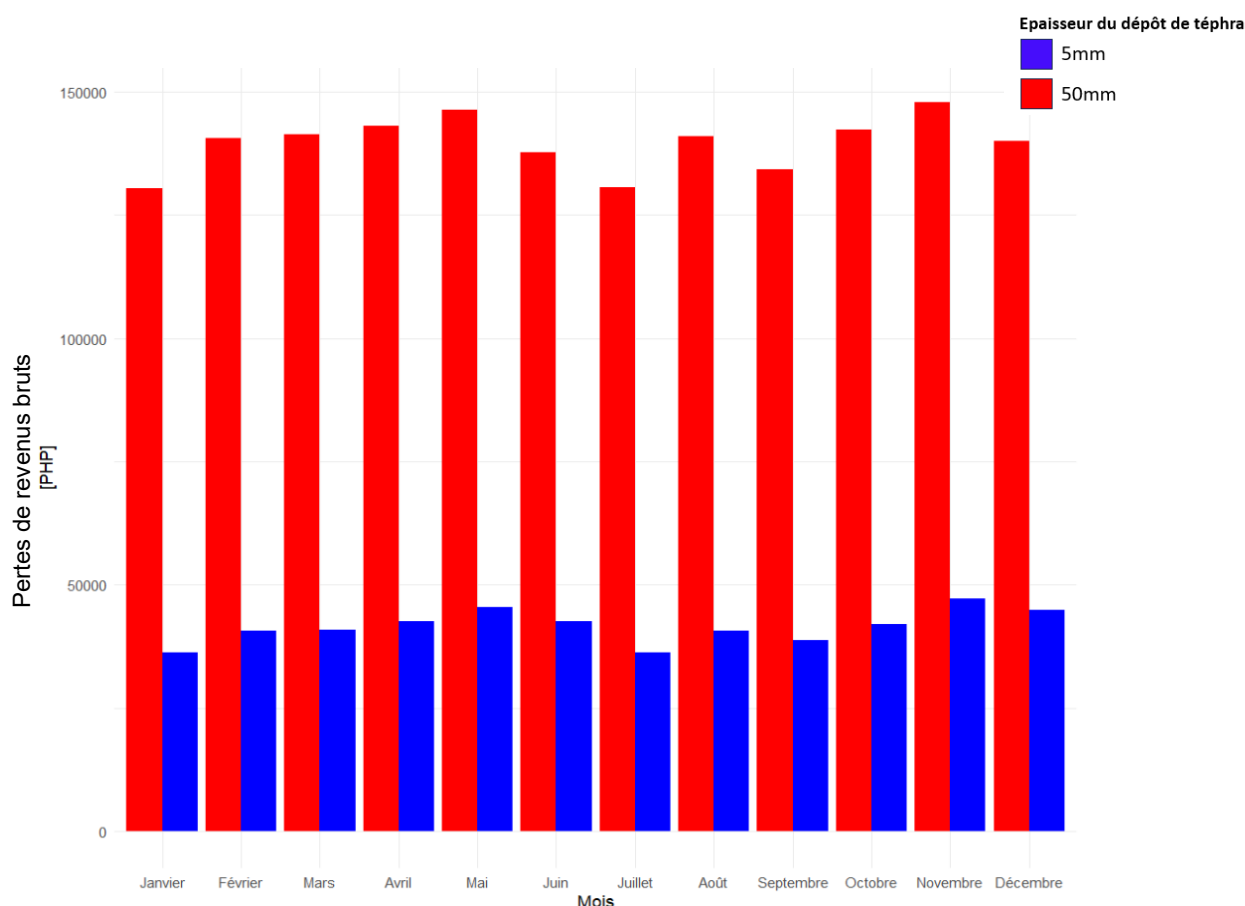


Figure 24 - Pertes de revenus [PHP] de l'exploitation n°4 en fonction du mois de l'année et de l'épaisseur de téphra

Sur la Figure 24, on observe que les pertes ne varient pas beaucoup au cours de l'année. La culture de riz représente une grande part des pertes de revenus de l'exploitation n°4 (environ 40%). L'élevage de porcelets et de veaux est également vulnérable tout au long de l'année.

Cependant au mois de novembre, les cultures de haricots verts et haricots « baggy » sont plus vulnérables et sont responsables d'environ 11% des pertes de revenus de l'exploitation rendant ainsi l'exploitation un peu plus vulnérable au mois de novembre qu'au mois de janvier (Figure 25).

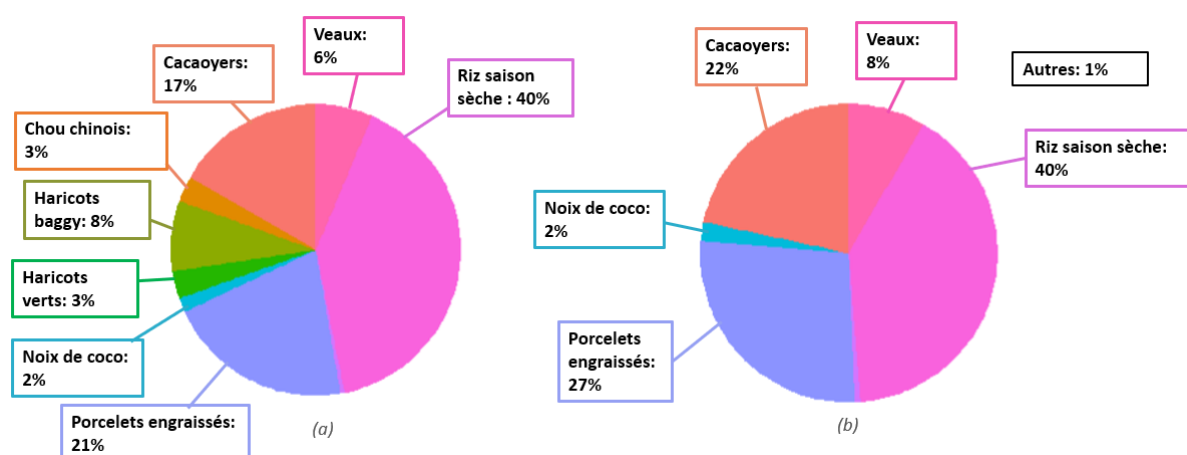


Figure 25 - Parts des productions dans la perte de revenus bruts de l'exploitation n°4 sous 5 mm au mois de novembre (a) et au mois de janvier (b)

5.4.3 Détermination des pertes d'actifs

Sous une couche de cendres de 5 mm, on estime qu'aucun des cocotiers ne sera détruit mais que deux cacaoyers seront perdus, ce qui équivaut à une perte de 2 kg/an. On estime un temps de renouvellement de trois ans pour le cacaoyer et donc une perte d'actifs de 1960PHP répartie sur trois ans. Sous 50mm, on estime que 11 cacaoyers et trois cocotiers seront perdus qui généreront respectivement des pertes de 10 776 PHP (8 kg/an) et 14 225 PHP (215 kg/an). Ces pertes ne prennent pas en compte les coûts supplémentaires nécessaires au rachat de nouveaux plants pour remplacer les arbres perdus.

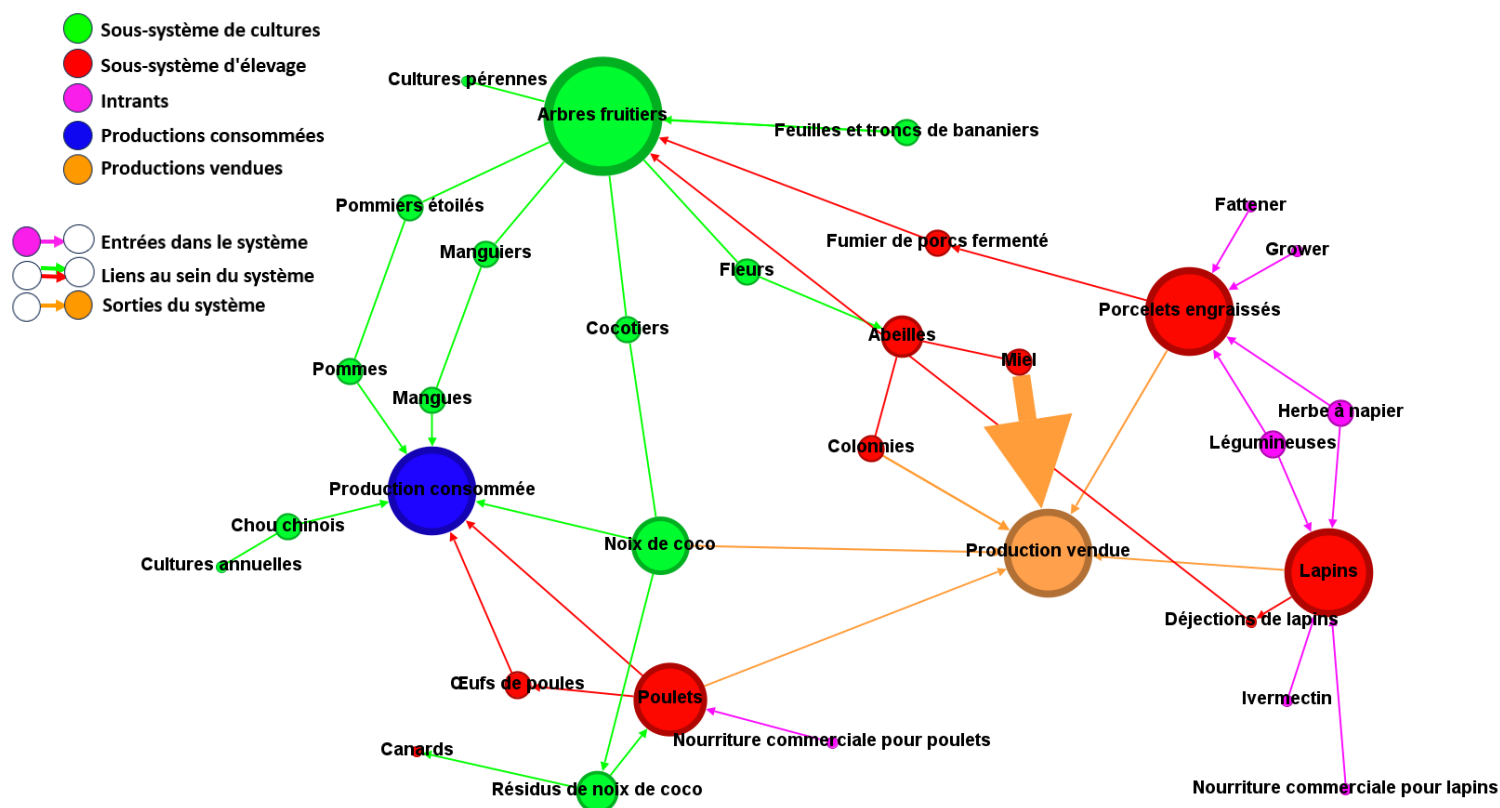
5.4.4 Détermination qualitative des coûts secondaires engendrés par les pertes de productions

Comme pour les autres exploitations, les vaches sont nourries exclusivement par les prairies et les résidus de la culture de riz. En cas d'éruption, l'herbe ne sera probablement plus disponible pour les bovins puisqu'elle sera contaminée et le fermier devra investir dans des stocks de nourriture industrielle. Les porcs sont également nourris avec des feuilles de patates douces, du kangkong, des papayes et de la noix de coco râpée. Il faudra donc potentiellement compenser en achetant plus de nourriture industrielle. Le fertilisant naturel initialement composé des déjections de bovins et des coques de riz et qui est utilisé comme fertilisant pour les différentes cultures ne pourra peut-être plus être produit et devra potentiellement être remplacé par des fertilisants inorganiques achetés dans le commerce (Figure 23).

5.5 Exploitation n°5

5.5.1 Description du système agricole sans dépôts de téphra

L'exploitation n°5 (Annexe C ; Figure 47) se situe dans le barangay de Tandarora qui se trouve dans la municipalité de Guinobatan. Le système agricole de l'exploitation n°5 possède un sous-système de cultures et un sous-système d'élevage qui sont en interaction l'un avec l'autre (Figure 26).



Le sous-système de cultures est composé de six manguiers, un pommier étoilé et 150 cocotiers. L'exploitation produit aussi du chou chinois pour sa consommation personnelle. La seule production végétale à être vendue est celle de noix de coco et elle représente 6,49% du revenu net annuel. Les productions végétales ne génèrent aucun coût car elles sont fertilisées par les déjections de lapins et de porcelets et par des feuilles et troncs de bananiers.

Le sous-système d'élevage est composé de 200 colonies d'abeilles qui produisent du miel, d'un petit élevage de porcelets engraisés et d'un élevage de poules et de lapins. La vente de miel est la part de revenu la plus importante puisqu'elle représente 75,88% du revenu agricole net. De plus, l'élevage d'abeilles ne génère aucun coût pour l'exploitation. Les œufs de poules ne rapportent pas de revenus car ils sont uniquement destinés à la consommation personnelle (Tableau 15).

Tableau 15 - Résumé des productions (en kg/an et PHP/an) annuelles de l'exploitation n°5, ainsi que leurs coûts et revenus associés. Sont également présentés le pourcentage des revenus bruts et nets et des coûts totaux que chaque production représente.

Système de culture	Production [kg/an]	Revenus bruts [PHP/an]	Coûts [PHP/an]	Revenus nets [PHP/an]	%Bruts	%Coûts	%Nets
Cultures pérennes							
Manguiers	50	0	0	0	0	0	0
Cocotiers	3881	17033	0	17033	5,81	0	6,46
Pommiers étoilés	5	0	0	0	0	0	0
Cultures annuelles							
Chou chinois	30	0	0	0	0	0	0
Système d'élevage							
Colonies d'abeilles	/	50000	0	50000	17,03	0	18,97
Miel	279	200000	0	200000	68,22	0	75,88
Lapin(e)s	/	0	6968	-6968	0	23,56	-2,64
Lapereaux	/	4500	3185	1315	1,54	10,77	0,5
Porcelets engraisés	161	20000	3185	16815	6,82	10,77	6,38
Poules et coqs	/	0	266	-266	0	0,9	-0,1
Poussins	75	1620	15969	-14349	0,55	54	-5,44
Œufs de poules	13	0	0	0	0	0	0
TOTAL	/	293153	29573	263580	/	/	/

Les revenus agricoles nets représentent environ 54% des revenus nets du ménage car le propriétaire donne également des formations sur l'apiculture et des cours à l'église, ce qui représente une source de revenus considérable pour le ménage (Tableau 16).

Tableau 16 - Récapitulatif de la situation économique du ménage de l'exploitation n°5 sur une année

Récapitulatif économique	[PHP]	[%] /revenu (brut ou net) total du ménage
Valeur brute fictive	462884	
Valeur nette fictive	431171	
Revenu brut agricole	293153	55
Dépenses agricoles	29573	
Revenu net agricole	263580	54
Autres rentrées d'argent brutes	240000	45
Autres dépenses	13920	
Autre net	226080	46
Revenu brut total du ménage	533153	
Dépenses totales du ménage	43493	
Revenu net total du ménage	489660	

5.5.2 Détermination des pertes directes sur les productions pour des dépôts de téphra d'épaisseur de 5 et 50 mm

Nous analyserons les pertes en termes de revenus bruts [PHP] bien qu'elles aient également été calculées en termes de pertes de productions [kg] et en termes de pertes de valeur fictive [PHP] (Annexe E). Sous une couche de téphra de 5 mm, la perte maximale de revenus est observée si l'éruption se produit entre février et juin et elle a une valeur de 43 094 PHP (15%). La perte minimale est observée entre les mois de juillet et janvier et a une valeur de 41 094

PHP (14%). Sous une couche de téphra de 50 mm, les pertes de revenus maximum et minimum sont observées aux mêmes mois et ont respectivement des valeurs de 59 620 PHP (20%) et 47 020 PHP (16%) (Figure 27).

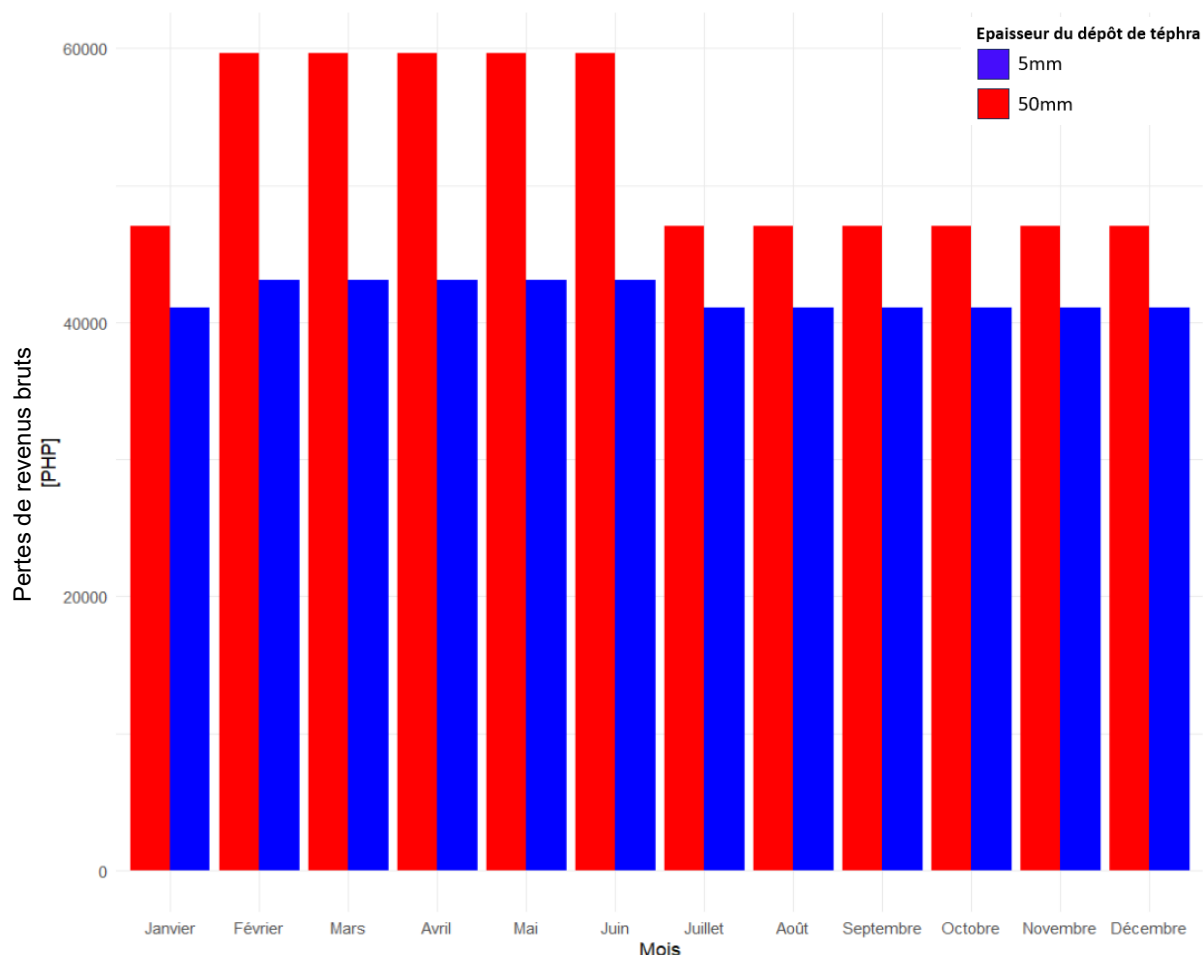


Figure 27 - Pertes de revenus [PHP] de l'exploitation n°5 en fonction du mois de l'année et de l'épaisseur du dépôt de téphra

Lorsque la perte est maximale, les productions qui génèrent le plus de pertes sont la vente de colonies d'abeille (70%) et la vente de miel (23%) suivi de la production de porcelets engraisés (5%). Lorsque la perte est minimale (juillet à janvier), il n'y a pas de perte de revenus sur la production de porcelets engraisés parce que la ferme n'accueille pas de porcelets à cette période. Dès lors, les seules productions vulnérables sont celles qui sont vulnérables toute l'année : les productions liées à l'élevage d'abeilles, les noix de coco et les lapereaux (Figure 28).

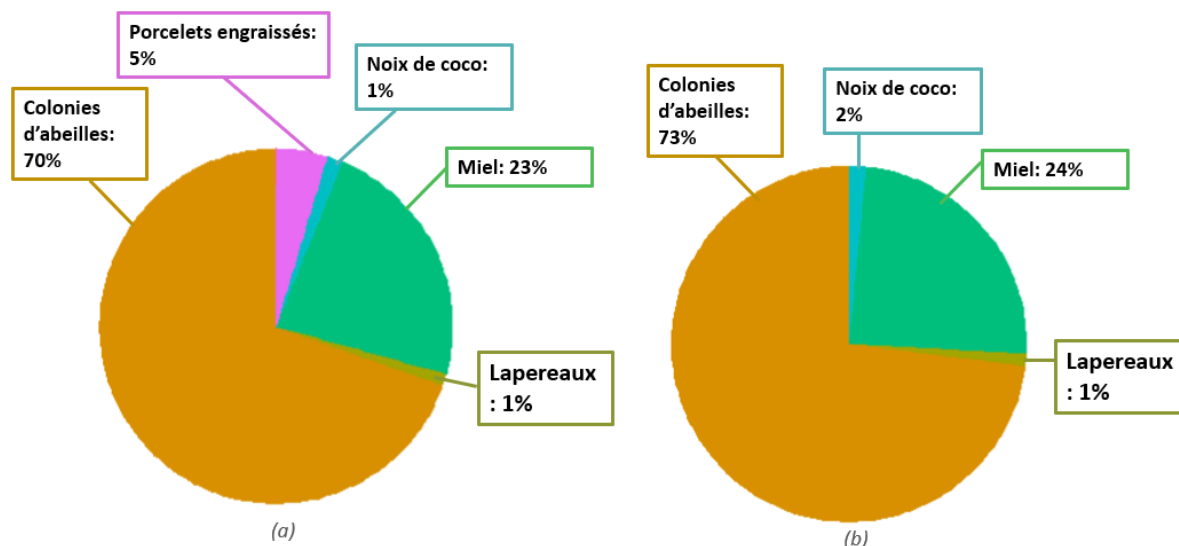


Figure 28 - Parts des différentes productions dans la perte de revenus bruts totale sous 5 mm pour le mois de février à juin (a) et les mois d'août à janvier (b)

5.5.3 Détermination des pertes d'actifs

Sous 5 mm de téphra, on estime que trois cocotiers, soit 78 kg/an de noix de coco, seront perdus et que cette perte vaut 2044 PHP sur six ans. Sous 50 mm de téphra, on estime la perte de 21 cocotiers et un manguier. Le temps de renouvellement des manguiers est estimé à 4 ans. La perte des cocotiers est évaluée à 14 308 PHP (543 kg/an) sur six ans et la perte du manguier à 8 kg/an sur 4 ans mais puisque les mangues ne sont pas vendues il n'y a pas de réelle perte de revenu.

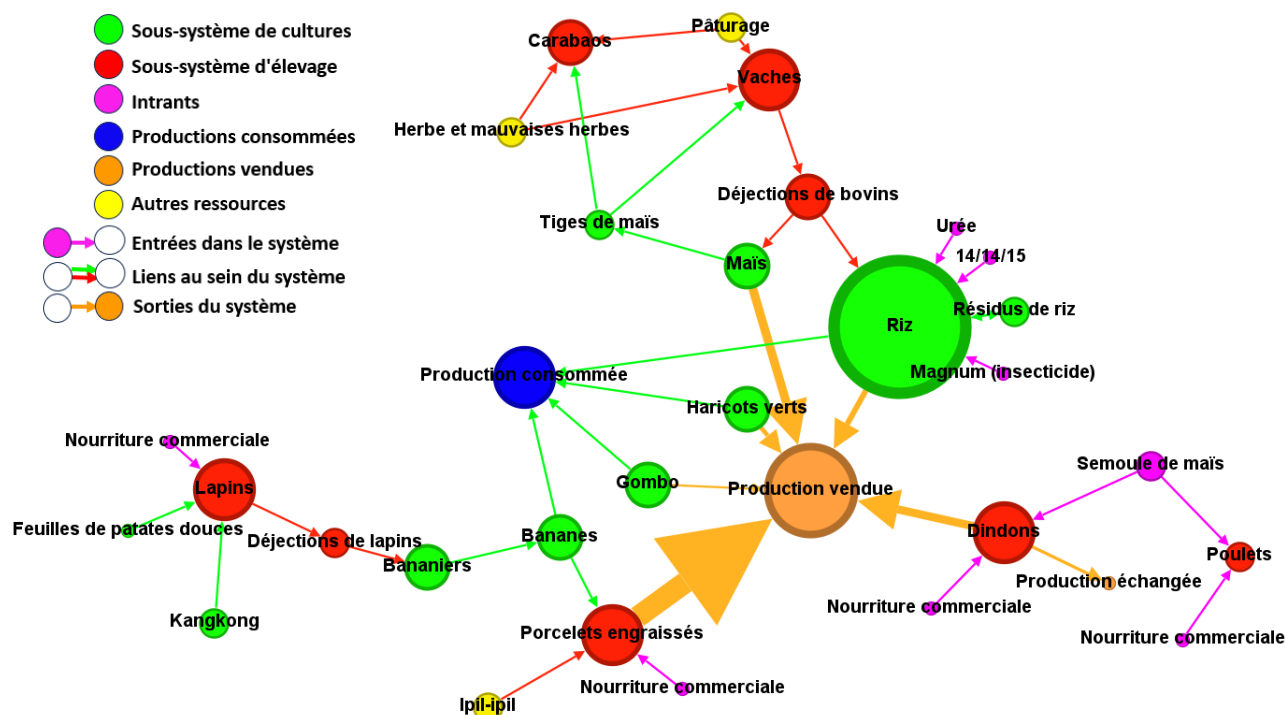
5.5.4 Détermination qualitative des coûts secondaires engendrés par les pertes de productions

À cause des pertes de productions dues au dépôt de téphra, les productions de chou chinois, de pommes, de mangues et de noix de coco qui étaient initialement destinés à la consommation personnelle seront réduites. Le fermier devra donc certainement augmenter les achats de nourriture à l'extérieur de la ferme. De plus, les résidus de noix de coco donnés aux canards et aux poulets seront certainement diminués, ce qui poussera sûrement le fermier à augmenter les achats de nourriture industrielle. Les flux de fumier de porc et de déjections de lapins utilisés pour fertiliser les arbres fruitiers seront peut-être diminués et cela nécessitera d'appliquer des fertilisants inorganiques achetés dans le commerce. Les fleurs qui permettent de nourrir les abeilles seront impactées et le fermier sera peut-être amené à mettre des moyens en place pour préserver ses colonies d'abeilles (Figure 26).

5.6 Exploitation n°6

5.6.1 Description du système agraire sans dépôts de téphra

L'exploitation n°6 se situe dans le barangay de Tandarora, dans la municipalité de Guinobatan (Annexe C ; Figure 48). Son système agraire est composé d'un sous-système de cultures et d'un sous-système d'élevage qui interagissent l'un avec l'autre (Figure 29).



Le système de cultures est composé de sept bananiers, de deux champs de riz d'une surface d'environ 1,2 hectare et d'un champ de 80 m² sur lequel pousse du gombo, des haricots verts et du maïs. Le riz représente presque 50% du revenu brut de l'exploitation mais génère également des coûts conséquents (42,14%) liés à l'achat de fertilisants et de produits phytosanitaires et à l'emploi de main d'œuvre. La production de bananes ne génère pas de revenus car tout est destiné à la consommation personnelle du ménage (Tableau 17).

Le système d'élevage est très diversifié puisque l'exploitation possède des carabaos, des dindons, des porcelets, des poules, des lapins et des vaches. Les porcelets et les veaux représentent la plus grande part du revenu brut (18,59% et 17,11%). Cependant ce sont les dindons et les poules qui génèrent le plus de coûts, principalement à cause de la nourriture industrielle achetée (Tableau 17).

Tableau 17 - Résumé des productions (en kg/an et PHP/an) annuelles de l'exploitation n°6, ainsi que leurs coûts et revenus associés. Sont également présentés le pourcentage des revenus bruts et nets et des coûts totaux que chaque production représente.

Système de culture	Production [kg/an]	Revenus bruts [PHP/an]	Coûts [PHP/an]	Revenus nets [PHP/an]	%Bruts	%Coûts	%Nets
Cultures pérennes							
Bananiers	120	0	0	0	0	0	0
Cultures annuelles							
Gombo	8	20	0	20	0,034	0	0,27
Haricots verts	30	1320	0	1320	2,22	0	17,94
Maïs	150	3750	0	3750	6,31	0	50,96
Riz	3542	29670	21940	7730	49,93	42,14	105,04
Système d'élevage							
Carabao femelles	/	0	0	0	0	0	0
Dindes/Dindons	/	0	3559	-3559	0	6,83	-48,36
Dindonneaux	120	3450	7118	-3668	5,81	13,69	-49,84
Porcelets engraisés	85	11050	6405	4645	18,59	12,3	63,12
Poules et coqs	/	0	4781	-4781	0	9,18	-64,97
Poussins	3	0	5419	-5419	0	10,41	-73,63
Œufs de poules	14	0	0	0	0	0	0
Lapin(e)s	/	0	2847	-2847	0	5,46	-38,65
Vaches	/	0	0	0	0	0	0
Veaux	980	10167	0	10167	17,11	0	138,16
TOTAL	/	59427	52068	7359	/	/	/

Le revenu agricole net total représente 61% car le reste des revenus du ménage proviennent d'autres sources comme le job d'ouvrier agricole et le job d'ouvrier en construction qu'exerce le propriétaire mais également par la location de leur tracteur (Tableau 18).

Tableau 18 - Récapitulatif de la situation économique du ménage de l'exploitation n°6 sur une année

Récapitulatif économique	[PHP]	[%] /revenu (brut ou net) total du ménage
Valeur brute fictive	128685	
Valeur nette fictive	76377	
Revenu brut agricole	59427	93
Dépenses agricoles	52068	
Revenu net agricole	7359	61
Autres rentrées d'argent brutes	4700	7
Autres dépenses	0	
Autre net	4700	39
Revenu brut total du ménage	64127	
Dépenses totales du ménage	52068	
Revenu net total du ménage	12059	

5.6.2 Détermination des pertes directes sur les productions pour des dépôts de téphra d'épaisseur de 5 et 50 mm

Nous analyserons les pertes en termes de revenus bruts [PHP] bien qu'elles aient également été calculées en termes de pertes de production [kg] et en termes de pertes de valeur fictive [PHP] (Annexe E). Sous une couche de téphra de 5 mm, les pertes de revenus bruts varient entre 1362 PHP (2%) et 12 900 PHP (22%). Sous une couche de téphra de 50 mm, les pertes de revenus varient entre 7761 PHP (13%) et 29 421 PHP (49%). On observe des pertes plus

faibles entre le mois d'avril et le mois de juillet. Sous 5 mm de téphra, le maximum de vulnérabilité est observé pour le mois de mars tandis que sous 50 mm de téphra le maximum est observé au mois de novembre (Figure 30).

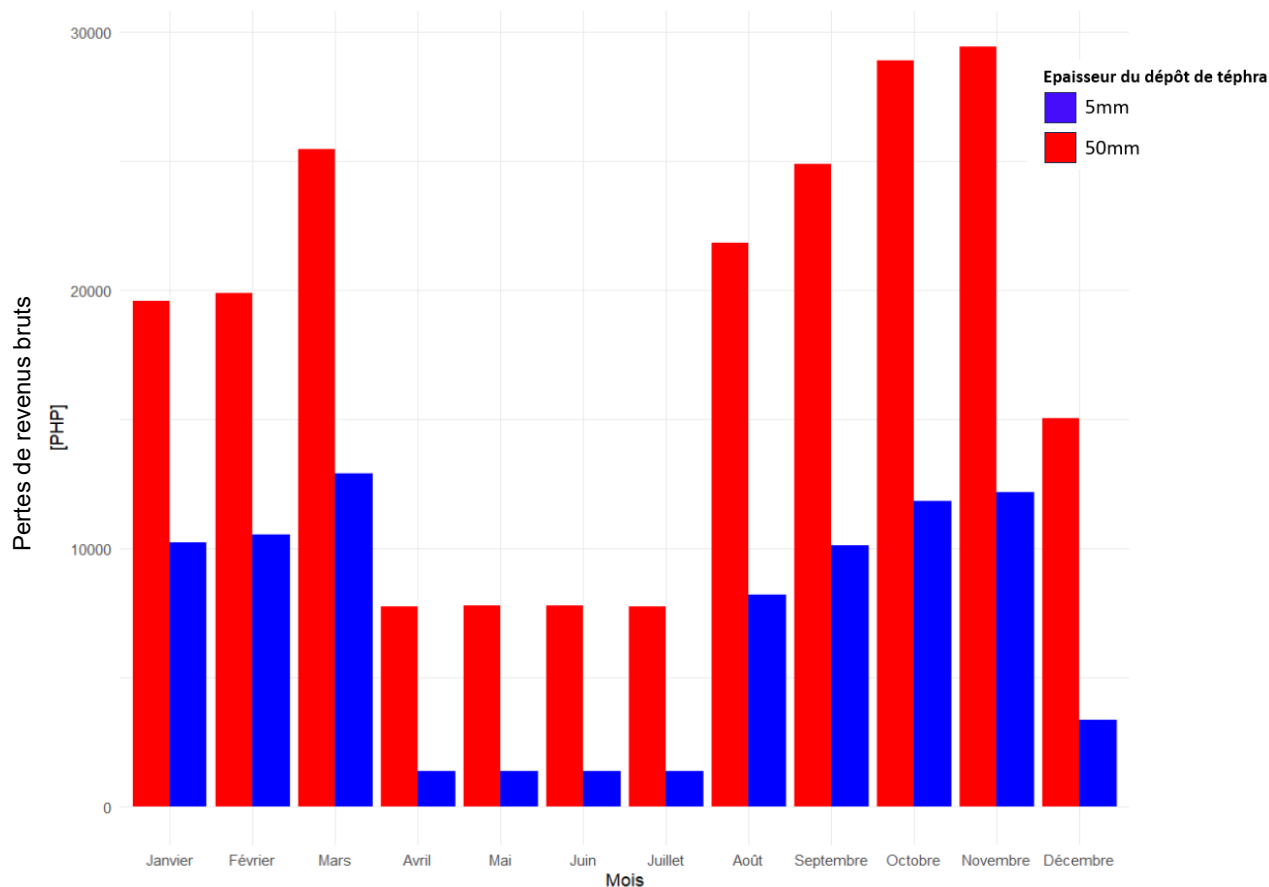


Figure 30 - Pertes de revenus bruts [PHP] pour l'exploitation n°6 en fonction du mois de l'année et de l'épaisseur de téphra

Sous 5mm de téphra, on observe que pour le mois associé à la vulnérabilité maximale (soit le mois de mars) la plus grande part de perte de revenus est celle de la production de riz de la saison sèche (80%) suivie de celle de haricots verts (9%) et ensuite de veaux (8%). En revanche, aux mois d'avril à juillet la plus grande part de perte de revenus est celle des veaux suivis de celle des dindonneaux (Figure 31). Les mois d'avril, mai, juin et juillet correspondent au moment où il n'y a que la culture de gombo sur le champ et où il n'y a que les veaux et les dindonneaux qui se trouvent exposés au téphra. La production de gombo ne représente que 0,034% du revenu brut et elle n'apparaît donc même pas dans la figure Figure 31, b). Les dindonneaux et les veaux sont vulnérables toute l'année. Dès lors, la vulnérabilité de la ferme est significativement diminuée à cette période.

Sous 50 mm, on observe que pour le mois associé à la vulnérabilité maximale (soit le mois d'octobre), la plus grande part de perte de revenus est celle de la culture de riz de la saison humide (40%) suivie de la production de porcelets engraisés (21%) et de la production de maïs (12%) (Figure 63 ; Annexe F). La différence de période de vulnérabilité maximale entre des dépôts de 5 et 50 mm s'explique en grande partie ici par le fait que le coefficient utilisé pour les haricots varie moins entre les deux épaisseurs (0,9 et 1) que celui utilisé pour les porcelets engraisés (0,1 et 0,57). Dès lors, sous 50 mm, la proportion de revenus perdus sur la

production de porcelets est beaucoup plus élevée (soit 6299 PHP contre 1105 PHP sous 5 mm) et rend l'exploitation particulièrement vulnérable (Tableau 56 ; Tableau 57 ; Annexe E).

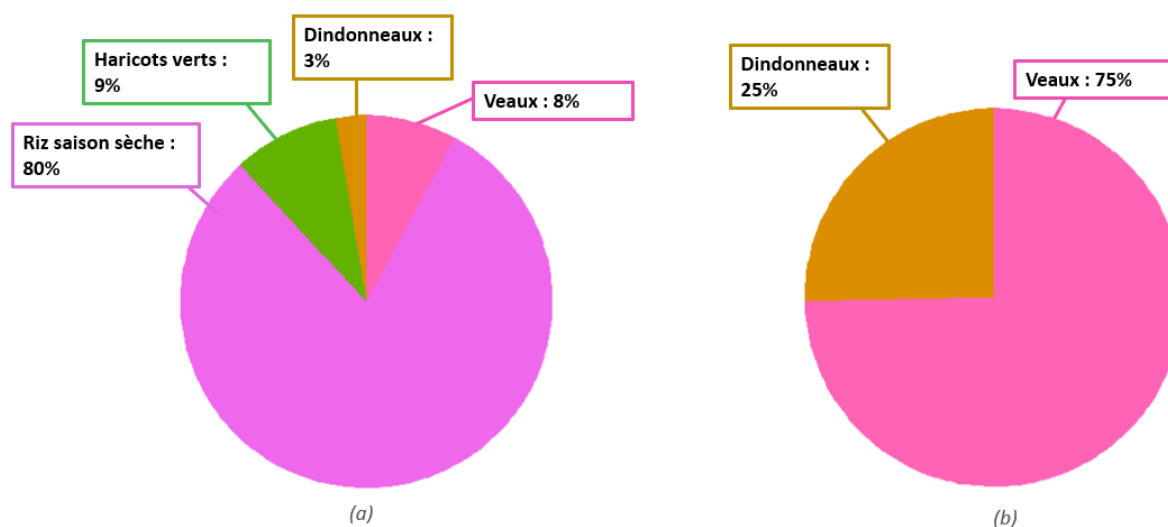


Figure 31 - Parts des productions dans la perte de revenus bruts totale sous 5 mm pour le mois de mars (a) et les mois d'avril et juillet (b)

5.6.3 Détermination des pertes d'actifs

Sous un dépôt de téphra de 5 mm, nous estimons qu'aucun arbre n'est perdu. En revanche, sous 50 mm, nous estimons la perte d'un bananier et d'une production de 17 kg/an. On considère le temps de renouvellement des bananiers égale à un an. La perte d'actifs dans ce cas sera estimée à 0 PHP puisqu'aucune banane n'est vendue.

5.6.4 Détermination qualitative des coûts secondaires engendrés par les pertes de productions

Une partie de la récolte de riz, de haricots verts, de gombo et de bananes est destinée à la consommation personnelle. À la suite d'une perte de rendement dû à un dépôt de téphra le ménage devra compenser les pertes en achetant une partie de sa nourriture dans le commerce. De plus, certaines cultures étaient destinées à nourrir les animaux. Par exemple, les lapins sont nourris avec des feuilles de patates douces et du kangkong, les porcelets avec des bananes et des feuilles de « ipil-ipil ». Si les rendements de ces productions sont trop bas le fermier devra peut-être acheter de la nourriture industrielle pour compenser. De plus, les déjections de lapins servaient de fertilisant aux bananiers et les déjections de bovins à la culture de riz. Si ces flux ne peuvent plus être assurés de manière optimale, le fermier aura peut-être recours à une dose plus élevée de fertilisants inorganiques qui engendrera des coûts supplémentaires à l'exploitation. Comme pour les autres fermes, les prairies étant contaminées, les vaches et les carabaos devront être nourris via une autre source qui générera sans doute également de nouveaux coûts (Figure 29).

5.7 Exploitation n°7

5.7.1 Description du système agricole sans dépôts de téphra

L'exploitation n°7 se situe dans le barangay de Maninila, qui se trouve dans la municipalité de Guinobatan (Annexe C; Figure 49). Elle possède un sous-système de culture et un sous-système d'élevage en interaction puisque le propriétaire utilise les déjections des porcs pour fertiliser son champ de riz et qu'il nourrit les canards avec du son de riz et des résidus de noix de coco (Figure 32).

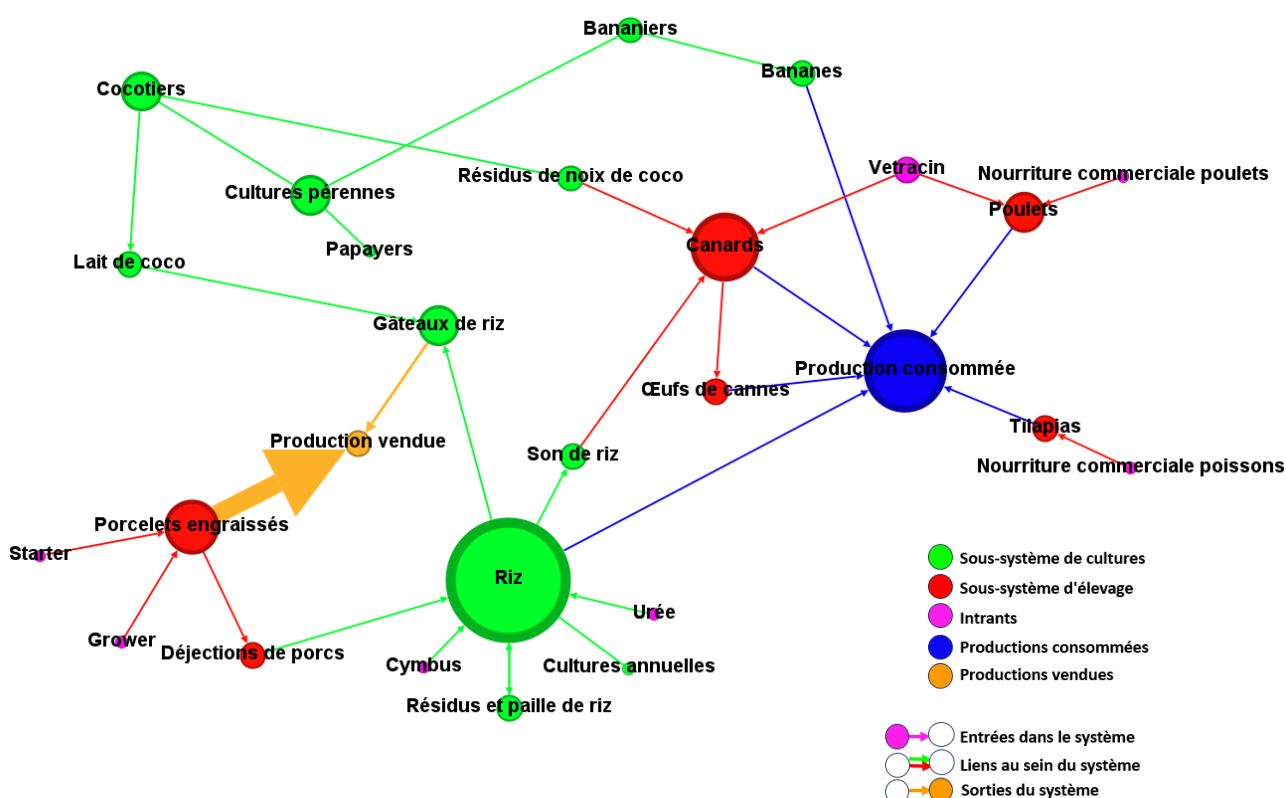


Figure 32 - Modèle conceptuel de l'exploitation n°7 réalisé sur le logiciel Gephi

Le système de culture est constitué de 34 bananiers et 30 cocotiers et d'environ 1,2 hectare de riz. Une partie de la culture de riz est vendue sous la forme de gâteaux de riz et l'autre partie est gardée pour la consommation familiale. La production de bananes et de cocotiers n'est pas vendue et elle est également gardée pour la consommation personnelle. De ce fait le revenu annuel net des productions végétales de l'exploitation est négatif (Tableau 19).

Le système d'élevage est composé d'un élevage de canards, de poules, de poissons et de porcelets engraissés (Tableau 19). Seule la production de porcelets engraissés est vendue, le reste est consommé par le ménage. De plus, les coûts liés à l'engraissement sont si élevés que le revenu net de la production est négatif. Dans l'interview, le propriétaire précise qu'il pense à arrêter l'élevage de porcelets parce que les coûts d'intrants sont devenus trop élevés.

Tableau 19 - Résumé des productions (en kg/an et PHP/an) annuelles de l'exploitation n°7, ainsi que leurs coûts et revenus associés. Sont également présentés le pourcentage des revenus bruts et nets et des coûts totaux que chaque production représente.

Système de culture	Production [kg/an]	Revenus bruts [PHP/an]	Coûts [PHP/an]	Revenus nets [PHP/an]	%Bruts	%Coûts	%Nets
Cultures pérennes							
Bananiers	117	0	0	0	0	0	0 /
Cocotiers	2808	0	0	0	0	0	0 /
Cultures annuelles							
Riz	1995	5000	27500	-22500	5	19	1 /
Système d'élevage							
Cannetons	4	0	0	0	0	2E-05	0 /
Œufs de canne	1	0	0	0	0	0	0 /
Porcelets engraisés	396	98880	104112	-5232	95	70	1 /
Poussins	30	0	14600	-14600	0	10	0 /
Tilapias	/	0	1680	-1680	0	1	0 /
TOTAL	/	103880	147892	-44012	/	/	/

Le revenu net total agricole est donc négatif, ce qui s'explique par le fait que les exploitants gardent une grande partie de leurs productions pour la consommation personnelle. De plus, les propriétaires n'ont pas d'autres sources de revenus. Il semblerait donc que les informations données dans l'interview ne permettent pas d'identifier toutes les sources de revenus. Peut-être que les propriétaires reçoivent de l'argent d'un membre de leur famille à l'extérieur de la ferme ou qu'ils n'ont pas mentionné l'existence de certains revenus agricoles ou d'une autre activité professionnelle en dehors de l'exploitation agricole (Tableau 20).

Tableau 20 - Récapitulatif économique de la situation économique du ménage de l'exploitation n°7 sur une année

Récapitulatif économique	[PHP]	[%] /revenu (brut ou net) total du ménage
Valeur brute fictive	164769	
Valeur nette fictive	13277	
Revenu brut agricole	103880	100
Dépenses agricoles	147892	
Revenu net agricole	-44012	100
Autres rentrées d'argent brutes	0	0
Autres dépenses	0	
Autre net	0	0
Revenu brut total du ménage	103880	
Dépenses totales du ménage	147892	
Revenu net total du ménage	-44012	

5.7.2 Détermination des pertes directes sur les productions pour des dépôts de téphra d'épaisseur de 5 et 50 mm

Nous analyserons les pertes en termes de revenus bruts [PHP] bien qu'elles aient également été calculées en termes de pertes de production [kg] et en termes de pertes de valeur fictive [PHP] (Annexe E). Sous une couche de téphra de 5 mm, la perte maximale de revenus est observée si l'éruption se produit aux mois d'août et septembre et elle a une valeur de 7944 PHP (8%). Sous une couche de téphra de 50 mm, la perte de revenus maximum est observée

à la même période mais ont des valeurs de 35 897 PHP (35%). On observe aucune perte au mois de novembre et décembre pour les deux épaisseurs de téphra (Figure 33).

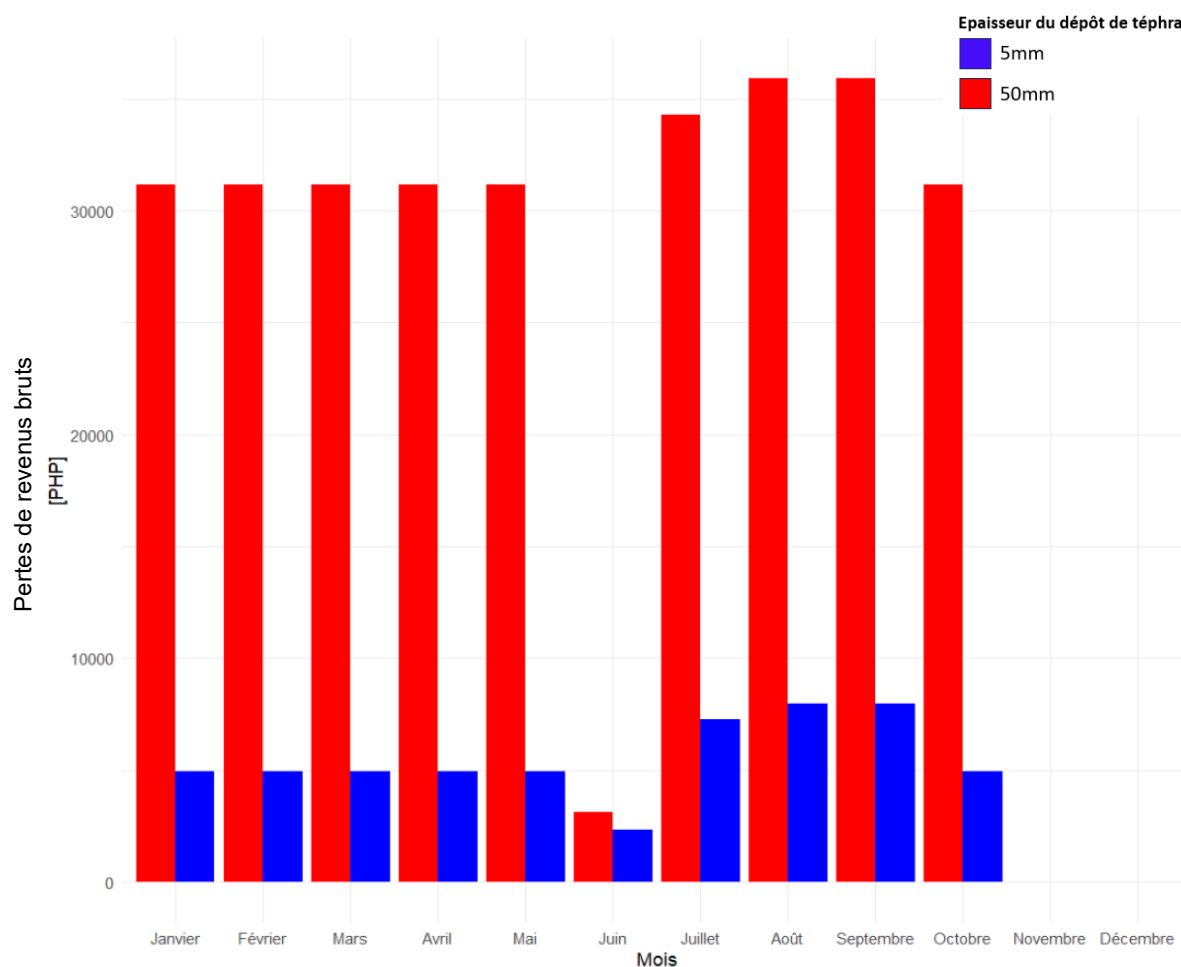


Figure 33 - Pertes de revenus bruts [PHP] de l'exploitation n°7 en fonction du mois de l'année et de l'épaisseur de téphra

Aux mois d'août et de septembre, les pertes de revenus sont uniquement dues à la production de porcelets (62%) et à celle de riz (38%) (Figure 34). En revanche, aux mois de novembre et décembre, la culture de riz destinée à la vente n'est pas sur le champ et les porcelets ont déjà été vendus. Toutes les productions de la ferme exposées à cette période sont à destination de la consommation personnelle et ne présentent donc pas de pertes de revenus bruts.

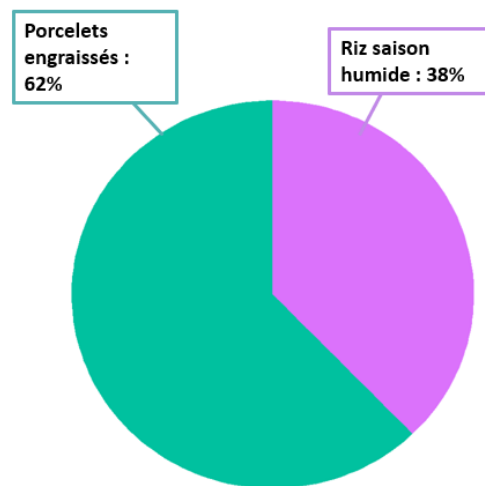


Figure 34 - Parts des productions dans la perte de revenus bruts totale de l'exploitation n°7 aux mois d'août et septembre

5.7.3 Détermination des pertes d'actifs

Sous 5mm de téphra, on estime qu'un bananier et un cocotier seront perdus, ce qui équivaut à des pertes respectives de 3 kg/an et de 94 kg/an. Sous 50 mm de téphra, on estime que cinq bananiers et quatre cocotiers seront détruits et les pertes associées seront de 17 kg/an et de 374 kg/an, respectivement. Cependant, aucune des productions de ces arbres n'étant vendues, la perte de ces arbres ne fera pas réellement perdre de l'argent à l'exploitation. Bien que ce qui était destiné à la consommation personnelle devra potentiellement être remplacé par l'achat de nourriture en dehors de l'exploitation.

5.7.4 Détermination qualitative des coûts secondaires engendrés par les pertes de productions

Les productions de bananes, riz, poulets, canards, œufs de cannes et tilapias qui étaient initialement destinées à la consommation personnelle devront être en partie remplacées par l'achat de nourriture dans le commerce afin de subvenir aux besoins du ménage. Les canards qui sont nourris uniquement de résidus de noix de coco et de son de riz devront peut-être être nourris avec de la nourriture industrielle dans le cas d'une éruption ce qui génèrera des frais supplémentaires. Les déjections de porcs utilisées pour fertiliser le champ de riz devront potentiellement être compensées par une dose plus importante de fertilisant inorganique acheté dans le commerce (Figure 32).

5.8 Exploitation n°8

5.8.1 Description du système agricole sans dépôts de téphra

L'exploitation n°8 se situe dans le barangay de Tumpa, dans la municipalité de Camalig (Annexe C ; Figure 50). Les sous-systèmes de cultures et d'élevage sont en interaction l'un avec l'autre

Productions concernées

par un mâle reproducteur puisque les vaches se nourrissent uniquement de l'herbe des pâturage communs et des résidus du champ de riz après récolte (Figure 35).

Tableau 21 - Résumé des productions (en kg/an et PHP/an) annuelles de l'exploitation n°8, ainsi que leurs coûts et revenus associés. Sont également présentés le pourcentage des revenus bruts et nets des coûts totaux que chaque production représente.

Système de culture	Production [kg/an]	Revenus bruts [PHP/an]	Coûts [PHP/an]	Revenus nets [PHP/an]	%Bruts	%Coûts	%Nets
Cultures pérennes							
Noix de coco	3640	22000	2800	19200	13,95	2,25	57,67
Cultures annuelles							
Haricots verts	500	10000	240	9760	6,34	0,19	29,32
Piments	50	0	0	0	0	0	0
Riz	3250	0	27418	-27418	0	22,03	-82,36
Cultures à cycle court							
Taro	26	0	0	0	0	0	0
Système d'élevage							
Truie	0	0	9520	-9520	0	7,65	-28,6
Porcelets	40	17500	5729	11771	11,09	4,6	35,36
Porcelets engraisés	700	88250	78053	10197	55,94	62,61	30,63
Poules et coqs	/	0	0	0	0	0	0
Poussins	125	0	0	0	0	0	0
Œufs de poule	53	0	0	0	0	0	0
Vache	/	0	0	0	0	0	0
Veaux	490	20000	700	19300	12,68	0,56	57,97
TOTAL		157750	124459	33291	/	/	/

Le revenu agricole net total de l'exploitation représente 22% du revenu total du ménage. En effet, les honoraires d'officier au barangay que perçoit le propriétaire ainsi que la pension que reçoit le couple chaque mois permet d'assurer 78% du revenu du ménage. Les autres dépenses correspondent à l'usinage du riz. Le revenu total du ménage est de 153 841 PHP/an (Tableau 22).

Tableau 22 - Récapitulatif de la situation économique du ménage de l'exploitation n°8 sur une année

Récapitulatif économique	[PHP]	[%] /revenu (brut ou net) total du ménage
Valeur brute fictive	245000	
Valeur nette fictive	111541	
Revenu brut agricole	157750	54
Dépenses agricoles	124459	
Revenu net agricole	33291	22
Autres rentrées d'argent brutes	136800	46
Autres dépenses	16250	
Autre net	120550	78
Revenu brut total du ménage	294550	
Dépenses totales du ménage	140709	
Revenu net total du ménage	153841	

5.8.2 Détermination des pertes directes sur les productions pour des dépôts de téphra d'épaisseur de 5 et 50 mm

Nous analyserons les pertes en termes de revenus bruts [PHP] bien qu'elles aient également été calculées en termes de pertes de production [kg] et en termes de pertes de valeur fictive [PHP] (Annexe E). Sous une couche de téphra de 5 mm, la perte maximale de revenus bruts est observée si l'éruption se produit aux mois de mars et elle a une valeur de 19 474 PHP (12%) et la perte minimale est observée au mois de novembre avec une valeur de 3649 PHP (2%). Sous une couche de téphra de 50 mm, la perte de revenus maximum est observée en août et en septembre et a une valeur de 67 199 PHP (43%). On observe une perte de revenus bruts minimale au mois de novembre égale à 16 896 (11%) (Figure 36).

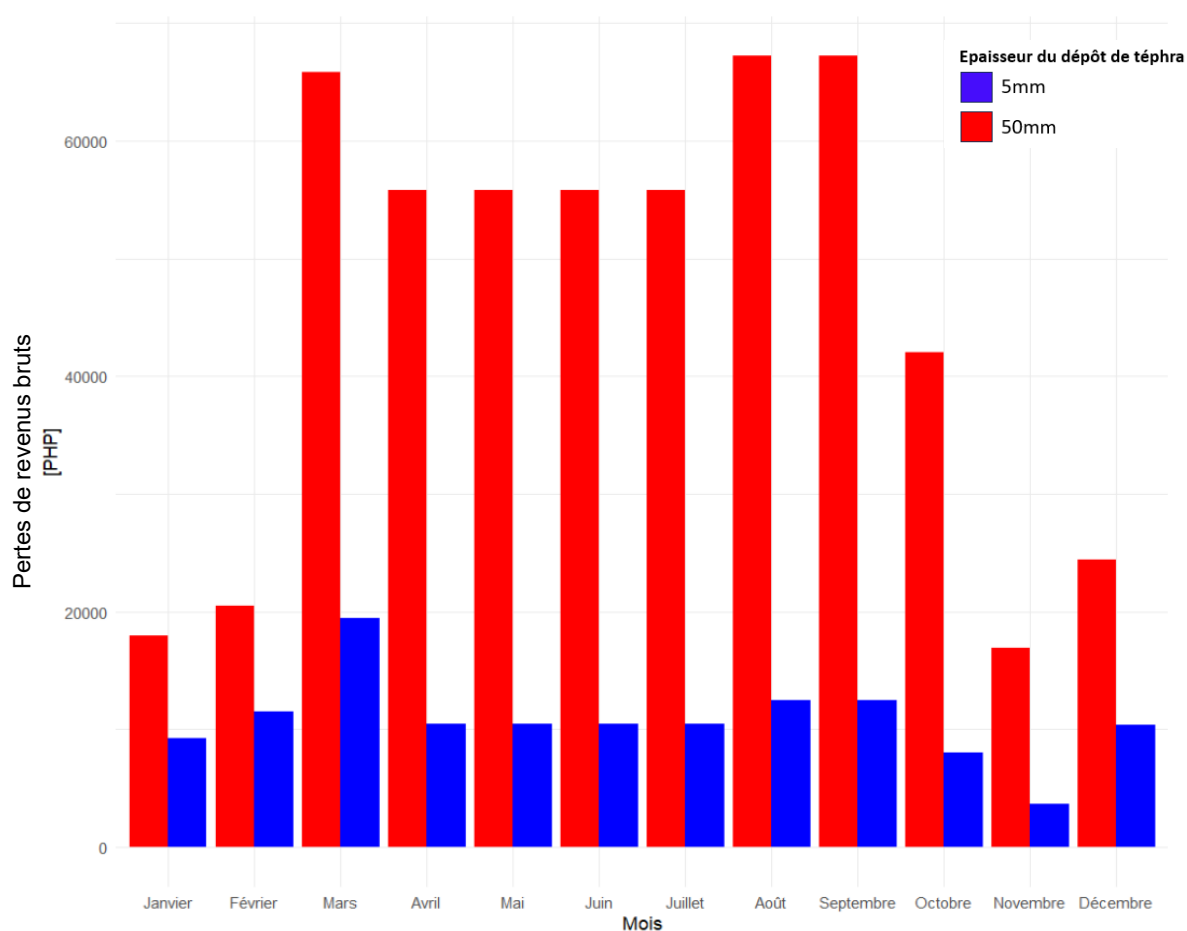


Figure 36 - Pertes de revenus bruts [PHP] de l'exploitation n°8 en fonction du mois de l'année et de l'épaisseur de téphra

Ce maximum de vulnérabilité au mois de mars peut être expliqué par le fait que deux portées de porcelets se trouvent au même moment sur la ferme et que la culture de haricots verts est très vulnérable à ce moment -là. On peut d'ailleurs voir que les parts des pertes de revenus causées par l'élevage de porcelets et par la culture de haricots verts sont respectivement de 45% et 46%. Au mois de novembre, la vulnérabilité de l'exploitation dépend de la vulnérabilité des veaux et de la culture de noix de coco qui rapportent des revenus bruts nettement moins importants. L'exploitation est donc moins vulnérable à cette période de l'année (Figure 37).

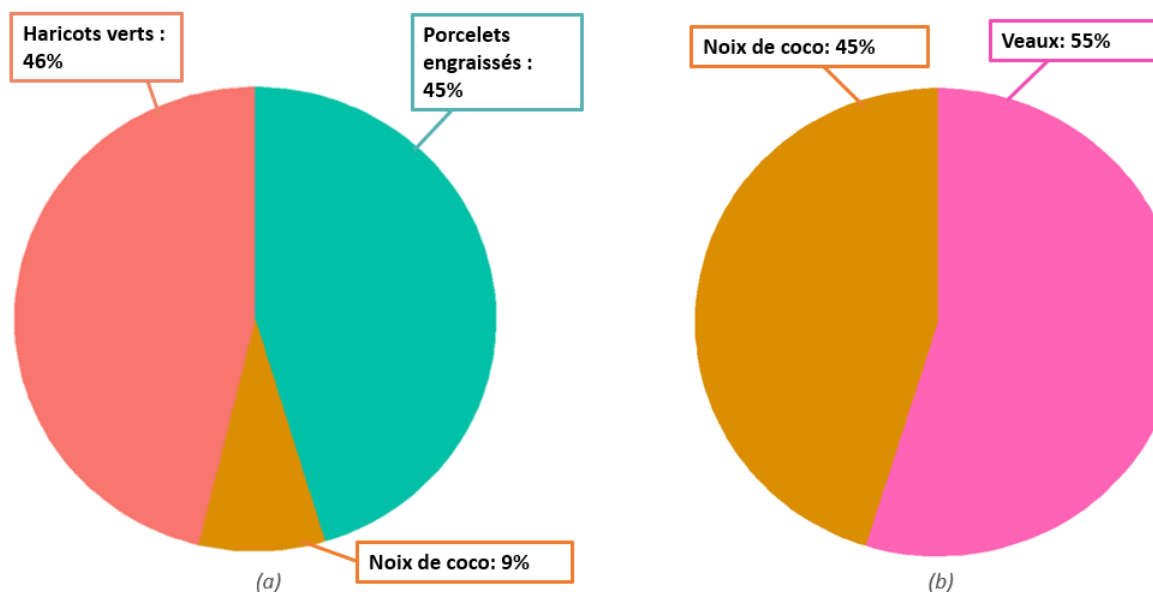


Figure 37 - Parts des différentes productions dans la perte de revenus bruts totale sous 5 mm au mois de mars (a) et au mois de novembre (b) pour l'exploitation n°8

5.8.3 Détermination des pertes d'actifs

Sous 5 mm de téphra, on estime qu'un seul cocotier sera détruit, ce qui engendrera une perte de 96 kg/an soit 3471 PHP sur six ans. Sous 50 mm de téphra, cinq arbres seront détruits et cela génèrera une perte de 479 kg/an soit 17 357 PHP.

5.8.4 Détermination qualitative des coûts secondaires engendrés par les pertes de productions

En cas d'éruption, les poulets et les œufs de poules destinés à la consommation personnelle devront sûrement être compensés par l'achat de nourriture dans le commerce. Puisqu'une partie de la production de riz était donnée au propriétaire de la terre nous ne sommes pas en mesure de savoir si le reste de la culture ira au propriétaire ou au fermier qui exploite le champ. Le son de riz et les feuilles de patates douces qui ne pourront potentiellement plus être donnés à l'élevage de porc devront peut-être être remplacés par l'achat d'une plus grande quantité de nourriture industrielle. Les déjections de bovins utilisées pour fertiliser la culture de riz ne pourront plus être appliquées puisque les bovins devront être mis en sécurité et le fermier prendra peut-être la décision d'appliquer plus de fertilisants inorganiques sur sa culture, ce qui augmentera les frais générés par l'exploitation (Figure 35).

6. Discussion

6.1 Interprétation des résultats

Dans cette section, nous analysons la vulnérabilité de chaque exploitation en fonction des pertes de revenu brut ou de valeur fictive brute (ferme n°1) mensuelles que nous avons calculées. Nous comparons également ces résultats avec les estimations faites par les agriculteurs durant les interviews (Partie 7 du questionnaire, Annexe A). Ceux-ci nous informent également sur leurs actions et leurs choix en cas d'éruption. Nous cherchons ainsi à déterminer si les productions que nous avons identifiées comme les plus vulnérables face à des dépôts de téphra de 5 et 50 mm sont celles pour lesquelles les agriculteurs s'efforcent de minimiser l'impact. En effet, nous considérons que si des mesures sont prises spécifiquement sur certaines productions, c'est dans le but de réduire au maximum les pertes subies par l'exploitation.

6.1.1 Exploitation n°1

À la suite de l'analyse de la perte de valeur fictive brute totale en fonction du mois de l'année, l'exploitation n°1 semble être plus vulnérable aux mois de mars et d'avril et aux mois d'octobre et novembre (Figure 15 ;Tableau 25 ; Annexe E). Sa vulnérabilité est considérablement diminuée aux mois de mai, juin et juillet. Les deux maxima de vulnérabilité semblent correspondre aux deux périodes de l'année où le riz se trouve au stade mature lorsqu'il est exposé au téphra et pour lequel on a considéré une vulnérabilité maximum (voir calendriers de cultures Annexe D, Figure 56). Il a ainsi été estimé qu'aux mois de mars et d'avril, le riz représentait 82% de la perte de valeur fictive brute totale (Figure 16). Le riz est en effet la production de l'exploitation qui possède la plus grande valeur fictive (31050 PHP/an) (Tableau 7).

Pour les mois associés à la vulnérabilité la plus faible (mai, juin et juillet) les productions les plus impactées sont celles de noix de coco et de tilapias (5% et 93% de la perte de valeur fictive sous 5mm de téphra) (Figure 16). Celles-ci ont des valeurs fictives nettement inférieures à celle du riz (2610 et 4670 PHP/an, respectivement) (Tableau 7). Cela explique pourquoi la perte de valeur fictive brute totale est plus faible à cette période de l'année.

En cas d'éruption, le propriétaire de l'exploitation n°1 affirme qu'il déplace son carabao sur des terres plus hautes et qu'il doit trouver de quoi le nourrir à cause de la contamination de l'herbe par la cendre. Cette pratique permettrait d'éviter d'engendrer de nouveaux frais en achetant de la nourriture industrielle dans le commerce pour sa carabao. Selon l'exploitant, la plus grande menace est le dépôt de téphra sur les cultures de riz et de légumes. Cependant, il nettoie uniquement les plants de riz. Ceci semble montrer que le fermier tente de limiter au maximum les impacts sur cette culture. Nos résultats appuient cette observation car nous identifions la culture de riz comme la plus vulnérable pour l'exploitation. Par ailleurs,

l'agriculteur affirme ne pas recevoir d'aide de son barangay et il dit chercher de nouvelles sources d'eau saines. Selon lui, il doit préparer sa terre le plus rapidement possible pour la culture suivante en vue de compenser les pertes subies. Il est convaincu que le téphra est un bon fertilisant pour la culture de riz.

6.1.2 Exploitation n°2

L'analyse de la perte du revenu brut total en fonction du mois de l'année suggère que la vulnérabilité de l'exploitation n°2 face aux dépôts de téphra de 5 et 50 mm est particulièrement élevée au mois de septembre (Figure 18). Cela correspond à la période où le maïs vient d'être plantée et où le riz est au maximum de sa vulnérabilité (Figure 57 ; Figure 56). Les pertes représentent respectivement 48% et 26% de la perte totale de revenu brut dans le cas d'un dépôt de 5mm (Figure 19).

La vulnérabilité de l'exploitation semble plus faible aux mois d'avril et de mai, ce qui rend compte du fait que les seules productions à cette période de l'année sont celles de noix de coco et de piments (Figure 18 ; Figure 19) Ces productions ont été considérées comme vulnérables tout au long de l'année (Figure 51 ; Figure 54). Cependant, il faut noter que la perte de revenus engendrée par les dégâts que la culture de noix de coco subit en cas d'éruption sera plus élevée à cause de la perte de cocotiers. En effet, nous avons estimé une perte de huit cocotiers (10 446 PHP sur six années) sous un dépôt de 5mm de téphra et une perte de 54 cocotiers (70 508 PHP sur six années) dans le cas d'un dépôt de 50mm de téphra. Il ne faut donc pas négliger la vulnérabilité associée à la culture de noix de coco.

Le propriétaire de la ferme n°2 déclare qu'en cas d'éruption, il commence par mettre ses animaux à l'abri car il sait qu'il recevra de la nourriture et des aides financières du gouvernement pour ses animaux. Dès lors, même si les animaux ne génèrent aucun revenu, il veillera d'abord à les mettre à l'abri. Selon lui, la plus grande menace pour son exploitation est la perte des cultures, une observation qui est en phase avec nos résultats. L'agriculteur nettoie les cultures avec de l'eau propre trouvée dans les « puits profonds ». Il affirme que si l'éruption se produit durant la floraison du riz, alors il ne récoltera rien. Il explique également que lorsqu'ils reviendront à la ferme après avoir été forcés d'évacuer lors de l'éruption, il plantera des cultures avec des cycles plus courts, par exemple du chou chinois.

6.1.3 Exploitation n°3

L'analyse de la perte du revenu brut total en fonction du mois de l'année indique que l'exploitation n°3 est la plus vulnérable pendant la période qui s'étend de janvier jusqu'au mois d'août avec un maximum au mois de février (Figure 21). Cette période correspond au moment où une portée de porcelets à engraisser se trouve dans le système (à partir du mois d'août, tous les porcelets engraisés ont été vendus) (Tableau 39 ; Annexe E). Au mois de février, nous avons estimé que les deux cultures de riz de l'exploitation étaient au maximum de leur vulnérabilité (Figure 56). De plus, une portée de porcelets et une portée de porcelets à engraisser se trouvent dans le système à cette période.

La vulnérabilité de la ferme semble plus faible pendant la période qui s'étend de septembre à décembre avec un minimum de vulnérabilité au mois de novembre (Figure 21). À cette période, la perte de revenu liée aux cultures est causée par les cultures de noix de coco, vulnérable toute l'année, de piments et de chou chinois (Figure 22). Celles-ci génèrent un revenu brut dérisoire par rapport à celui du riz, à savoir 7000 PHP/an en tout pour les trois cultures contre 89 899 PHP/an pour la culture de riz (Tableau 11). La perte de revenu liée à l'élevage est causée par les veaux et le petit carabao qui sont considérés comme vulnérables tout au long de l'année. Ceci montre à quel point le riz et l'élevage de porcelets sont particulièrement importants pour les revenus de la ferme et donc rendent l'exploitation particulièrement vulnérable aux retombées de téphra au moment où ils sont produits. Cependant, il ne faut pas négliger les pertes liées à la culture de noix de coco. En effet, nous avons estimé que sous 5 mm de téphra, la perte de deux cocotiers engendrerait une perte de revenus de 14 040 PHP sur six ans. Sous 50 mm de téphra, 14 cocotiers seraient touchés et la perte observée s'élèverait alors à 98 280 PHP.

En cas d'éruption, les propriétaires de la ferme n°3 fabriquent des abris pour les porcelets et les vaches. Ils couvrent la source d'eau pour la maintenir saine. Ils donnent de l'eau et de la nourriture aux animaux jusqu'à ce qu'il pleuve. Ceci montre l'importance qu'ils accordent à limiter les dégâts sur l'élevage de porcelets. Ils affirment qu'ils perdront toute la culture de riz, qu'ils replanteront et n'auront pas besoin de fertiliser grâce à l'apport de cendres. Dans nos résultats, nous avons déterminé que le fermier devrait peut-être appliquer plus de fertilisants inorganiques puisqu'il ne pourrait plus compter sur les déjections des bovins. Or, le témoignage des propriétaires montre qu'au contraire l'apport de téphra réduira les coûts nécessaires à la fertilisation du champ de riz puisqu'ils n'auront pas à fertiliser du tout. Pour les noix de coco, ils ne font rien. La culture de noix de coco représente environ 17% de leur revenu brut et est donc la deuxième production la plus lucrative après celle des porcelets engraisés. Ceci soulève la question de la capacité des agriculteurs à atténuer les impacts des retombées de téphra sur les arbres fruitiers.

6.1.4 Exploitation n°4

Notre analyse montre que la vulnérabilité de l'exploitation n°4 varie très peu en fonction du mois considéré (Figure 24). Ceci est dû au fait que la plupart des productions sont vulnérables tout au long de l'année. Par exemple, le fermier enchaîne les deux cultures de riz sans laisser le champ à nu entre deux saisons et il achète des porcelets dès qu'il a vendu la portée précédente (Figure 56). Les seules productions dont la vulnérabilité varie en fonction du mois sont les cultures de légumes (chou chinois, gombo, haricots verts, etc.). Cependant celles-ci ne représentent qu'environ 4% du revenu brut de l'exploitation tandis que les revenus du riz et des porcelets engraisés représentent respectivement 12% et 73% (Tableau 13). Dès lors, on observe très peu de variations dans les pertes de revenu estimées au cours de l'année.

Les propriétaires de la ferme n°4 posent des bâches autour de la porcherie en cas d'éruption, ce qui n'a pas empêché de perdre certains individus lors de la dernière activité éruptive du volcan Mayon en janvier 2018. Ceci montre que les fermiers tentent de limiter les dégâts sur l'élevage de porcelets. Cela semble également confirmer nos résultats qui montrent que la part

de perte de revenu liée aux porcelets, au mois de novembre, est de 21% sous 5 mm et de 42% sous 50 mm de téphra. Ils essaient de nettoyer les téphra au mieux autour de la maison et dans la porcherie. Pour les cultures, ils affirment qu'ils attendent que la pluie lave les cultures. Selon eux, toutes les cultures sont détruites et ils ne gardent que les noix de coco qui sont tombées par terre. Il est étonnant que, contrairement à d'autres fermes, ils ne fassent rien pour limiter les dégâts sur la culture de riz alors que nos résultats indiquent qu'elle génère la plus grande perte de revenus en cas d'éruption (40% au mois de novembre et sous 5mm).

6.1.5 Exploitation n°5

L'analyse de la perte de revenu brut au cours de l'année montre que la vulnérabilité ne varie pas beaucoup au cours de l'année (Figure 27). Sous 5 mm la perte de revenu brut varie de 14% à 15% tandis que sous 50 mm, la perte varie de 16 à 20 %. Ceci est principalement dû au fait que la majorité des pertes sont générées par l'impact sur les colonies d'abeilles et sur la production de miel. Sous 5 mm et pour les mois de février à juin, la perte de revenu sur les colonies représente 70% de la perte totale de revenu brut totale et la perte sur la vente de miel représente 23% (Figure 28). Or, ces productions ont été considérées comme vulnérables tout au long de l'année. La période allant de février à juin est cependant un peu plus vulnérable parce qu'elle correspond au moment où les porcelets à engraisser se trouvent dans le système. Les porcelets représentent alors environ 5% de la perte de revenus (Figure 28).

En cas d'éruption, les propriétaires de l'exploitation n°5 mettent leurs poulets et leurs lapins à l'abris dans des cages en contreplaqué et leur donnent un bain pour les laver des particules de téphra. Or, on sait que leur production ne représente qu'environ 2% des revenus. Cependant, ils consomment cinq poulets et 180 œufs par an. En cas d'éruption, cela leur permet de limiter les coûts supplémentaires nécessaires à leur consommation personnelle. Ils donnent de l'eau et de la nourriture à leurs animaux jusqu'à ce qu'il pleuve. Aucune information spécifique aux porcelets n'est donnée. Ceci est étonnant puisque la production de porcelets est le deuxième élevage le plus lucratif après l'élevage d'abeilles. Les colonies d'abeilles sont aspergées d'eau la nuit lorsque les abeilles se trouvent à l'intérieur. Nous avons estimé qu'il s'agissait de l'élevage qui engendrait les plus grandes pertes et il semble logique que le fermier tente de limiter au mieux l'impact des chutes de téphra. Rien ne semble être fait pour la culture de noix de coco. Bien qu'elle ne représente qu'environ 2% des pertes, nous avons calculé que sous 5 mm la perte de trois cocotiers engendrerait une perte de 2044 PHP étalée sur six années et que sous 50 mm la perte de 21 cocotiers engendrerait une perte de 14 308 PHP étalée sur six années.

6.1.6 Exploitation n°6

L'analyse de la perte de revenu brut au cours de l'année montre que l'exploitation semble moins vulnérable entre les mois d'avril et de juillet (Figure 30). Les seules productions impactées à cette période sont celles de dindonneaux et de veaux et leur vulnérabilité a été considérée comme constante au cours de l'année. On observe un maximum de vulnérabilité aux mois de mars et de novembre. Le mois de mars correspond à la période pendant laquelle

la culture de riz de la saison sèche et la culture de haricots verts sont les plus vulnérables (Figure 31). Le mois de novembre correspond à la période où la culture de riz de la saison humide est à son pic de vulnérabilité et où les porcelets à engraisser se trouvent dans le système.

Les propriétaires de l'exploitation n°6 ne font rien de particulier pour leurs poulets et affirment qu'ils ne sont pas capables de les vendre en cas d'éruption, ce qui augmenterait la perte de revenus générés par les poulets. Les vaches et les carabaos sont amenés dans une zone non affectée par l'éruption. Ils estiment une perte totale de la culture de riz. Ils attendent que la pluie nettoie les plantes. Ils cherchent des sources d'eau et de nourriture pour leurs animaux et quand ils ne trouvent pas, ils nettoient l'herbe des pâturages. Nous avons déterminé précédemment que la contamination des prairies par le téphra pourrait engendrer des frais supplémentaires pour l'alimentation des bovins. Or, ça ne semble pas être le cas, ici. Ils replantent le plus vite possible, appliquent des produits de secours (aucune information supplémentaire n'est donnée quant à la nature de ceux-ci), cherchent de nouvelles sources de revenus et font faire des check-up vétérinaires à leurs animaux.

6.1.7 Exploitation n°7

Suite à notre analyse, la vulnérabilité de l'exploitation n°7 semble peu varier entre les mois de janvier et de mai (Figure 33). Aux mois d'août et de septembre, la vulnérabilité est plus élevée car ces mois correspondent à la période où la culture de riz est la plus vulnérable et pendant laquelle les porcelets à engraisser se trouvent dans le système. Ainsi la part de perte de revenus sur les porcelets est de 62% et celle du riz est de 38% (Figure 34). Le creux que l'on observe au mois de juin est dû au fait que le fermier fait une pause entre deux portées de porcelets. Il n'y a alors que la production de riz qui est vulnérable. Aux mois de novembre et décembre, aucune production ne semble être vulnérable d'un point de vue des revenus étant donné que la culture de riz en place à cette période est uniquement réservée à la consommation personnelle. Cependant, certaines cultures qui ne sont pas vendues comme celles de bananes, de noix de coco, une partie du riz ainsi que les élevages de canards et de poulets seront tout de même impactés ce qui poussera certainement les propriétaires à faire des dépenses supplémentaires en dehors de la ferme pour subvenir à leur consommation personnelle.

En cas d'éruption et d'évacuation, une personne de l'exploitation n°7 reste à la ferme pour nourrir les animaux. Ils nettoient la cendre avec de l'eau, notamment sur le champ de riz et les arbres. Il y a un marché qui se crée autour de la cendre car mélangée avec du ciment elle peut être utilisée pour faire des décorations. On suppose donc qu'ils exploitent cette nouvelle source de revenus.

6.1.8 Exploitation n°8

L'analyse des pertes de revenu brut en fonction du mois de l'année a montré que la vulnérabilité était plutôt stable entre les mois de mars et de septembre avec un maximum atteint au mois de mars (Figure 36). Celui-ci correspond à la période où deux portées de porcelets à engraisser se trouvent au même moment dans le système et où la culture de haricots verts est à son maximum de vulnérabilité (Figure 53). Ces productions représentent 56% et 6% du revenu brut, respectivement (Tableau 21). Aux mois d'août et de septembre l'exploitation semble également plus vulnérable que le reste de l'année puisque cela correspond à une période où il y a de nouveau deux portées de porcelets à engraisser dans le système et où un veau est né.

La vulnérabilité de l'exploitation semble plus faible entre novembre et février, avec un minimum au mois de novembre. Le mois de novembre correspond à la période où les seules productions du système qui apportent un revenu sont le veau et la culture de noix de coco (Figure 37).

En cas d'éruption, un membre de la famille de l'exploitation n°8 reste également sur la ferme pour s'en occuper. Selon eux, les aides du gouvernement, les capitaux agricoles et l'entraide du voisinage et de la famille les aident à revenir à la normale. Ils aimeraient qu'on leur envoie des intrants, du matériel pour planter et des semences. Ils aspergent les cultures et les pâturages d'eau. Ils nettoient particulièrement les haricots verts. Ce qui semble confirmer nos résultats qui montrent qu'au mois de mars (pour lequel la perte est maximale), les haricots verts représentent 46% de la perte de revenu brut totale (Figure 37). Ils affirment qu'ils n'ont pas d'autres choix que de vendre les animaux à un prix très bas et que les acheteurs prennent l'avantage de la situation critique. Quand ils ne pouvaient pas mettre leurs porcelets à l'abri ils les tuaient directement et les vendaient aux voisins sur prêt. Cependant, il semblerait qu'ils puissent aujourd'hui les mettre à l'abri.

6.2 Comparaison des résultats obtenus pour les huit fermes

La surface totale des huit exploitations varie entre 0,08 et 9 hectares. L'effectif animal est quantifié grâce à la Tropical Livestock Unit (=TLU). Cette unité de référence attribue un facteur de conversion en fonction de la capacité de charge des pâtures de chaque espèce consommant du fourrage. Aucune distinction n'est faite sur la race, le sexe et l'âge des animaux ou encore sur la finalité de l'élevage (Rothman-Ostrow et al., 2020). Les facteurs de conversion utilisés sont disponibles à l'Annexe 2G ("FAO Yearbook of Forest Products 1979," n.d.). L'effectif animal des huit exploitations varie donc entre 0,16 et 7 TLU. Le revenu brut agricole initial varie entre 59 427 PHP/an et 703 556 PHP/an. Pour quatre fermes sur huit, la culture qui rapporte le plus de revenus est celle de noix de coco. Pour trois fermes sur huit, il s'agit de la culture de riz. Pour cinq fermes sur huit l'élevage qui rapporte le plus de revenus bruts est l'élevage de porcelets à engraisser (Tableau 23).

Les pertes de revenus bruts sous un dépôt de téphra de 5 mm varient entre 0 et 30% en fonction de l'exploitation considérée et du mois de l'année. Sous 50 mm de téphra les pertes varient entre 0 et 49%. Nous observons qu'en appliquant le même traitement aux huit fermes, nous n'obtenons pas les mêmes périodes de vulnérabilité maximale. Ceci s'explique par une grande variabilité entre les types de productions des différentes fermes, dans leur calendrier de cultures et par la période pendant laquelle les animaux se trouvent dans le système. En effet, pour une même culture il existe des moments de semis et de récolte différents qui varient en fonction des pratiques agricoles spécifiques à l'exploitation. De même que, pour un même élevage, les fermiers n'inséminent pas, n'achètent pas et ne vendent pas forcément les portées au même moment. Ces différences entre les exploitations témoignent à quel point il est important que l'approche temporelle soit prise en considération dans l'analyse de la vulnérabilité des systèmes agraires. Pour quatre fermes sur huit, la production qui cause la plus grande perte de revenus bruts est l'élevage de porcelets à engraisser. Il faut tout de même noter que cet élevage est extrêmement dépendant des intrants puisque les porcelets sont nourris en majeure partie par des concentrés industriels. Dès lors, en cas d'éruption, il n'y aura pas ou peu de coûts supplémentaires engendrés, contrairement aux animaux qui sont nourris au pâturage ou par certaines productions de la ferme.

Tableau 23 - Tableau comparatif des huit exploitations

Ferme n°	1	2	3	4	5	6	7	8
Caractéristiques générales								
Cultures ¹	Pé,An,Cc	Pé, An	Pé,An	Pé, An, Cc	Pé, An	Pé, An	Pé,An,Cc	Pé,An,Cc
Elevage ²	B,Po	B, Vo	B,P	B,P,Vo	Vo, L	B,P,Vo,L	P,Vo, L, Ps	B,P,Vo
Stockage ³	-	-	DA	DA	DA, RC	DA	DA	DA
Surface totale (ha)	0,5	9	2,5	1	0,08	0,765	0,78	0,875
Effectif animal ⁴	0,8	0,89	7	6,3	0,54	3,79	0,16	1,86
Revenu brut agricole initial [PHP/an]	0	120294	703556	534708	293153	59427	103880	157750
Culture qui rapporte le plus de revenu brut		NDC ⁵ (69,83%)	NDC ⁵ (16,63%)	Riz (11,87%)	NDC ⁵ (5,81)	Riz (45,9%)	Riz (5%)	NDC ⁵ (13,95%)
Elevage qui rapporte le plus de revenu brut	/	/	PE ⁶ (50,67%)	PE ⁶ (73,05%)	Elevage abeilles (85,25)	PE ⁶ (18,59%)	PE ⁶ (95%)	PE ⁶ (55,94%)
Estimation des pertes en cas de dépôt de téphra								
Pertes de revenu brut sous 5mm	/	4%-14%	2%-9%	7%- 9%	14%	2%-30%	0%-8%	2%-12%
Pertes de revenu brut sous 50 mm	/	12%-29%	7%-31%	24%-28%	16%-20%	13%-49%	0%-35%	11%-43%
Période de l'année la plus vulnérable	/	Septembre	Janvier à août (maximum en février)	Relativement constante	Relativement constante avec une hausse de février à juin	Mars et novembre	Août et septembre	Mars et avril (maximum en mars)
Productions qui génèrent le plus de pertes de revenus bruts lorsque la ferme est la plus vulnérable	/	Maïs	Riz, PE ⁶	Riz, PE ⁶	Colonies d'abeilles, Production de miel	Riz	Riz, PE ⁶	Haricots verts, PE ⁶

¹Cultures : Pé= culture pérennes, An= cultures annuelles, Cc= cultures à cycle court ; ²Elevage : B= bovins, P=Porcins, Vo= volaille, L=lapins, Ab= abeilles, Ps=Poissons ; ³Stockage : DA=déjections animales, RC= cultures et résidus de cultures, - = pas de stockage ; ⁴TLU= Tropical Livestock Unit ; 1 bovin =0.7 TLU, 1 porc=0.2 TLU, 1 lapin=1volaille=0.01 TLU ; ⁵NDC= noix de coco ; ⁶PE = Porcelets engraisés

6.3 Le caractère intrinsèque de la vulnérabilité des systèmes agraires de la région étudiée

Nous avons défini la vulnérabilité du système agricole face aux dépôts de téphra comme les caractéristiques et les circonstances du système qui le rendent susceptible d'être impacté négativement par le dépôt de téphra (UN/ISDR, 2007). Nous avons déjà l'idée que celle-ci dépendaient des caractéristiques de l'exploitation touchée, des conditions climatiques locales, de la période de l'année, de la nature et de la structure de la végétation ainsi que des cultures, de la gestion des risques déjà en place, ainsi que des propriétés et de la santé globale de l'écosystème (Craig et al., 2021).

Nos résultats mettent en lumière l'importance de la période de l'année et des caractéristiques de l'exploitation étudiée sur sa vulnérabilité. Par exemple, les exploitations n°4,6 et 7 ont les mêmes sources principales de revenus bruts qui sont le riz et les porcelets engraisés. Pourtant, on observe des périodes de vulnérabilité très différentes pour ces trois exploitations (Tableau 23). Ceci est expliqué par le fait que les calendriers de cultures du riz des exploitations et les moments pendant lesquels les exploitations possèdent les porcelets sont différents. Nos résultats rendent ainsi compte du caractère intrinsèquement variable de la vulnérabilité des exploitations de la région du Mayon. Ceci soulève une question importante dans notre perception de la vulnérabilité des systèmes agraires. Dès lors que chaque exploitation est unique, est-il réellement envisageable d'établir des stratégies et des recommandations génériques applicables à tous les systèmes agraires de la région en cas d'éruption du volcan ?

Les Philippines s'inscrivent dans une région qui connaît uniquement une saison humide et une saison sèche (Feng et al., 2013). Nous pensons que la méthode utilisée dans ce travail mériterait d'être testée dans une région où la saisonnalité est plus marquée et où les calendriers de cultures et d'élevage sont plus rigoureusement synchronisés et uniformes entre les exploitations.

6.4 La vulnérabilité des systèmes agraires face aux retombées de téphra et l'intégration agriculture-élevage

Dans le cadre du développement de systèmes agraires durables, l'agroécologie préconise des systèmes efficaces, productifs, résilients et auto-suffisants. L'intégration culture-élevage (IAE) des systèmes mixtes culture-élevage semble être un bon moyen de progresser vers la réalisation de ces objectifs (Stark et al., 2016). L'IAE tire profit des interactions existant au sein des systèmes agraires comme par exemple, l'utilisation de déjections animales comme fertilisant ou l'utilisation des résidus de cultures pour l'alimentation des animaux. Notre travail montre que ceci est discutable pour les systèmes agraires qui sont exposés à des retombées de téphra. En effet, notre analyse qualitative des coûts secondaires issus des répercussions causées par les pertes de productions directes semble montrer que plus un système possède de flux internes et plus ces coûts secondaires s'avèreront élevés. À cause des pertes de rendement certains flux ne pourront plus circuler entre les éléments et de nouveaux coûts apparaîtront pour palier à ces répercussions et subvenir aux besoins des entités du système. Cependant, nous remarquons aussi qu'un système qui baserait ses revenus sur un seul type de production vulnérable toute l'année pourrait avoir plus de mal à repartir (après l'impact d'une éruption) qu'un système ayant plusieurs types de productions vulnérables à différents moments de l'année. Par exemple, dans le cas des fermes n° 4,6 et 7, il serait peut-être même préférable de ne pas produire les porcelets en même temps que la culture de riz pour ne pas exposer les deux productions les plus lucratives au même moment.

C'est cette ambivalence qui nous pousse à croire que le lien entre l'efficacité, la productivité, l'auto-suffisance, la caractérisation de l'IAE et la vulnérabilité face à des retombées de téphra devrait être étudié de manière chiffrée. Ce mémoire fournit une analyse chiffrée de l'ensemble des flux de huit systèmes agraires sur laquelle appliquer la méthode développée par Stark et al. (2019). Dans cette étude, une série d'indicateurs ont été mis au point, notamment un

indicateur de résilience et un indicateur d'intensité de l'IAE et leurs corrélations ont été déterminées. Nous pourrions ainsi déterminer si les exploitations considérées peu résilientes par la méthode de Stark et al., 2019 sont également celles pour lesquelles nous avons identifié une plus grande vulnérabilité face aux retombées de téphra. Si cet indicateur s'avère applicable aux systèmes agraires soumis aux retombées de téphra, il pourrait être grandement utile dans le développement de nouvelles stratégies de réduction des risques. Ceci permettrait de voir si les facteurs qui soutiennent la durabilité des systèmes agraires diffèrent de ceux qui diminuent la vulnérabilité des systèmes agraires face aux retombées de téphra. Il s'agit d'une question essentielle dans l'élaboration de stratégies dès lors qu'il existe des zones impactées simultanément par l'activité volcanique et par les changements climatiques, par exemple.

6.5 Limites de l'analyse et perspectives d'amélioration

Ce mémoire a permis pour la première fois d'estimer les pertes de revenu subies par des exploitations agricoles sous deux épaisseurs de dépôt de téphra en fonction du mois de l'année. Cependant, la méthode utilisée dans ce travail est perfectible.

Premièrement, les informations collectées lors des interviews peuvent être inexactes et mener à des biais dans les estimations de productions et revenus annuels. En effet, les réponses des fermiers peuvent être influencées par divers facteurs socio-culturels (Rhoades, 1985).

Deuxièmement, les coefficients de pertes et de saisonnalité utilisés dans notre analyse ont été calculés sur base de petits ensembles de données et les incertitudes liées sont mal quantifiées. Ceci peut mener à des biais majeurs dans les prédictions de pertes de rendement qui ont été calculées dans ce travail. De plus, par manque de données dans la littérature, nous avons utilisé des coefficients qui ont été calculés sur base d'exploitations néo-zélandaises. Celles-ci étaient certainement bien plus mécanisées que les exploitations philippines de ce travail. En 1997, on estime qu'il y a environ 25 fois plus de tracteurs par milliers d'hectares en Nouvelle-Zélande qu'aux Philippines (Costa, 2003). Le climat, les espèces de plantes cultivées, les calendriers de culture doivent également varier significativement entre les deux pays.

Il semblerait également que d'autres facteurs que l'épaisseur du dépôt de téphra influencent la vulnérabilité des systèmes agraires et ceux-ci ne sont pas pris en compte dans cette analyse. Certains sont directement liés aux propriétés du téphra comme la granulométrie et la composition de surface, d'autres sont non-volcaniques comme les conditions environnementales et les caractéristiques morphologiques spécifiques des plantes. En effet, on sait que la morphologie des espèces, notamment si elles sont pubescentes, aura un impact sur le temps de résidence du téphra sur la plante, la capacité de celui-ci à être érodé par la pluie ou le vent et donc finalement sur la perte de rendement de la culture.

Les périodes de semis et de récolte proviennent des interviews sur le terrain. Les périodes de floraison, de maturation des tubercules et du riz ont été estimées sur base de moyennes issues de la littérature. Cependant les stades phénologiques dépendent de beaucoup de facteurs génétiques et environnementaux (par exemple, la photopériode) (Pineda et al., 2020). Ces

facteurs n'ont pas pu être pris en compte dans ce travail pour deux raisons principales : nous ne connaissons pas les espèces exactes cultivées et il est difficile d'estimer la photopériode aux Philippines sur base de la littérature. Pour que l'analyse soit plus précise il faudrait que les périodes de floraison soient directement déterminées sur place via les interviews ou que les informations sur les cultures soient plus précises.

De nombreux coûts ont été sous-estimés dans ce travail. Nous n'avons pas pu calculer les pertes de tous les actifs, notamment ceux liés aux dégâts des infrastructures. Nous n'avons pas pu quantifier les coûts secondaires qui découlent des pertes de productions. On sous-estime également les coûts moyens mis en œuvre pour l'entretien des cultures et des animaux après l'éruption.

Il serait donc intéressant de comparer les résultats de ce travail avec une étude post-éruptive des impacts sur les rendements des mêmes exploitations afin de déterminer si les coefficients utilisés sont adaptés. Ceci pourrait également permettre d'améliorer nos connaissances et de créer des fonctions de fragilité spécifiques aux systèmes agraires de cette région des Philippines.

Le code utilisé dans ce travail pourra être amélioré à mesure que nos connaissances sur la vulnérabilité des cultures et de l'élevage s'enrichiront. De plus, il pourra être adapté à d'autres systèmes agraires à conditions que le fichier *Excel* source soit adapté aux exploitations que l'on voudra étudier.

7. Conclusion

L'objectif principal de ce mémoire était d'évaluer la vulnérabilité face à l'aléa de téphra de huit systèmes agraires autour du volcan Mayon aux Philippines.

L'étude du fonctionnement des systèmes agraires et l'analyse de la situation économique des huit exploitations agricoles ont permis de documenter nos connaissances sur la vulnérabilité des systèmes agraires à proximité du volcan Mayon. Nous avons testé l'impact de deux épaisseurs de téphra (5 et 50 mm) sur les productions de huit exploitations en appliquant des coefficients de pertes adaptés aux types de productions. Nous avons ainsi calculé les pertes subies par les productions, exprimées en termes de pertes de revenu brut [PHP] et en termes de pertes de production [kg]. Nous avons également pour la première fois essayé d'inclure la saisonnalité des cultures dans l'analyse et nous proposons les pertes de revenu brut totales de l'exploitation en fonction du mois au cours duquel l'éruption advient. Il en ressort l'importance d'envisager la vulnérabilité des systèmes agraires d'un point de vue temporel puisque nous avons remarqué que des exploitations ayant des productions similaires avaient des périodes de vulnérabilité maximales différentes. Ce travail met également en lumière le caractère intrinsèquement variable de la vulnérabilité des systèmes agraires face aux retombées de téphra et il remet en question le développement de stratégies génériques dans la région du volcan Mayon. De plus, notre travail propose un point de départ pour étudier les exploitations, non plus comme la somme des productions, mais en prenant en compte les interactions qui existent au sein du système. Bien qu'elle soit uniquement qualitative, notre approche permet d'envisager les coûts supplémentaires qui pourraient être générés par la réduction des flux entre les éléments du système en cas d'éruption. Nous pourrions imaginer de chiffrer ces coûts à condition d'avoir des données plus détaillées sur les choix des fermiers et les prix du marché en cas d'éruption. Pour finir, notre travail questionne la promotion de l'intégration agriculture-élevage pour le développement de systèmes agraires durables dans le cas d'un aléa volcanique. Il fournit les données de départ pour le calcul d'indicateurs, développés par Stark et al. (2019), qui permettront d'étudier de manière chiffrée la résilience des systèmes agraires étudiés.

L'approche utilisée dans ce travail est perfectible. Cependant, avec l'amélioration de nos connaissances sur la vulnérabilité spécifique de chaque type de culture et d'élevage nous pourrions affiner notre analyse et dès lors proposer une prédiction bien plus précise et pertinente des pertes qui pourraient être subies par les exploitations autour des volcans. Le code créé dans le cadre de ce travail pourra être utilisé sur d'autres exploitations agricoles susceptibles d'être exposé à une retombée de téphra.

Références bibliographiques

- | Philippine Statistics Authority | Republic of the Philippines [WWW Document], n.d. URL <https://psa.gov.ph/statistics/poverty/node/167972> (accessed 12.29.23).
- Adams, C.M., Hutchinson, T.C., 1987. Comparative Abilities of Leaf Surfaces to Neutralize Acidic Raindrops. *New Phytologist* 106, 437–456. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1987.tb00151.x>
- Antoniou, S., Elnashai, A.S.E., 2000. Implications Of Recent Earthquakes On Seismic Risk. *World Scientific*.
- Antos, J.A., Zobel, D.B., 2005. Plant Responses in Forests of the Tephra-Fall Zone, in: Dale, V.H., Swanson, F.J., Crisafulli, C.M. (Eds.), *Ecological Responses to the 1980 Eruption of Mount St. Helens*. Springer, New York, NY, pp. 47–58. https://doi.org/10.1007/0-387-28150-9_4
- Ayris, P.M., Delmelle, P., 2012. The immediate environmental effects of tephra emission. *Bull Volcanol* 74, 1905–1936. <https://doi.org/10.1007/s00445-012-0654-5>
- Barberi, F., Bertagnini, A., Landi, P., Principe, C., 1992. A review on phreatic eruptions and their precursors. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 52, 231–246. [https://doi.org/10.1016/0377-0273\(92\)90046-G](https://doi.org/10.1016/0377-0273(92)90046-G)
- Bastian, M., Heymann, S., Jacomy, M., 2009. Gephi: An Open Source Software for Exploring and Manipulating Networks. *Proceedings of the International AAAI Conference on Web and Social Media* 3, 361–362. <https://doi.org/10.1609/icwsm.v3i1.13937>
- Blake, D.M., Wilson, G., Stewart, C., Craig, H.M., Hayes, J., Jenkins, S., Wilson, T., Horwell, C.J., Andreastuti, S., Daniswara, R., Ferdiwijaya, D., Leonard, G.S., Hendrasto, M., Cronin, S., 2015. The 2014 eruption of Kelud volcano, Indonesia : impacts on infrastructure, utilities, agriculture and health.
- Bonadonna, C., Costa, A., 2012. Estimating the volume of tephra deposits: A new simple strategy. *Geology* 40, 415–418. <https://doi.org/10.1130/G32769.1>
- Bonadonna, C., Costa, A., Folch, A., Koyaguchi, T., 2015. Tephra Dispersal and Sedimentation, in: *The Encyclopedia of Volcanoes*. Elsevier, pp. 587–597. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385938-9.00033-X>
- Carey, S., Bursik, M., 2015. Volcanic Plumes, in: *The Encyclopedia of Volcanoes*. Elsevier, pp. 571–585. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385938-9.00032-8>
- Cashman, K.V., Sparks, R.S.J., 2013. How volcanoes work: A 25 year perspective. *Geological Society of America Bulletin* 125, 664–690. <https://doi.org/10.1130/B30720.1>
- Cook, R.J., Barron, J.C., Papendick, R.I., Williams, G.J., 1981. Impact on Agriculture of the Mount St. Helens Eruptions. *Science* 211, 16–22. <https://doi.org/10.1126/science.211.4477.16>
- Costa, H.D., 2003. Agriculture--new Directions for a New Nation: East Timor (Timor-Leste) : Proceedings of a Workshop 1-3 October 2002, Dili, East Timor. Australian Centre for International Agricultural Research.
- Crafford, A.E., Venzke, E., eds., n.d. Global Volcanism Program, 2018. Report on Mayon (Philippines). *Bulletin of the Global Volcanism Network*, 43:4. Smithsonian Institution. <https://doi.org/10.5479/si.GVP.BGVN201804-273030>
- Craig, H., Wilson, T., Magill, C., Stewart, C., Wild, A.J., 2021. Agriculture and forestry impact assessment for tephra fall hazard: Fragility function development and New Zealand

- scenario application. *Volcanica* 4, 345–367.
<https://doi.org/10.30909/vol.04.02.345367>
- Craig, H., Wilson, T., Stewart, C., Outes, V., Villarosa, G., Baxter, P., 2016a. Impacts to agriculture and critical infrastructure in Argentina after ashfall from the 2011 eruption of the Cordón Caulle volcanic complex: an assessment of published damage and function thresholds. *Journal of Applied Volcanology* 5, 7. <https://doi.org/10.1186/s13617-016-0046-1>
- Craig, H., Wilson, T., Stewart, C., Villarosa, G., Outes, V., Cronin, S., Jenkins, S., 2016b. Agricultural impact assessment and management after three widespread tephra falls in Patagonia, South America. *Nat Hazards* 82, 1167–1229. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2240-1>
- Craig, H.M., 2015. Agricultural vulnerability to tephra fall impacts.
 DA ACPC to fast track agri loan for Albay farmers | DA Regional Field Office 5 [WWW Document], n.d. URL <https://bicol.da.gov.ph/da-acpc-to-fast-track-agri-loan-for-albay-farmers/> (accessed 12.29.23).
- Dahlgren, R.A., Saigusa, M., Ugolini, F.C., 2004. The Nature, Properties and Management of Volcanic Soils. *Advances in Agronomy* 82, 113–182. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(03\)82003-5](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(03)82003-5)
- De La Cruz-Reyna, S., 1996. Long-Term Probabilistic Analysis of Future Explosive Eruptions, in: *Monitoring and Mitigation of Volcano Hazards*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 599–629. https://doi.org/10.1007/978-3-642-80087-0_18
- Delmelle, P., Opfergelt, S., Cornelis, J.-T., Ping, C.-L., 2015. Chapter 72 - Volcanic Soils, in: Sigurdsson, H. (Ed.), *The Encyclopedia of Volcanoes (Second Edition)*. Academic Press, Amsterdam, pp. 1253–1264. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385938-9.00072-9>
- Di Prinzio, C.Y., Penaluna, B., Grech, M.G., Manzo, L.M., Miserendino, M.L., Casaux, R., 2021. Impact of Chaitén Volcano ashfall on native and exotic fish recovery, recolonization, and abundance. *Science of The Total Environment* 752, 141864. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141864>
- Dickert, T.E., Tracy, W.F., 2002. Heterosis for Flowering Time and Agronomic Traits among Early Open-pollinated Sweet Corn Cultivars. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 127, 793–797. <https://doi.org/10.21273/JASHS.127.5.793>
- Dixon, J., Gulliver, A., Gibbon, D., 2001. *Farming Systems and Poverty: Improving Farmers' Livelihoods in a Changing World*. FAO, Rome.
- Donfut, M., 2022. Évaluation de la vulnérabilité des systèmes agraires soumis aux retombées de cendres volcaniques.
- FAO, 2021. The impact of disasters and crises on agriculture and food security: 2021. FAO, Rome, Italy. <https://doi.org/10.4060/cb3673en>
- FAO Yearbook of Forest Products 1979 [WWW Document], n.d. URL <https://www.fao.org/3/AM471T/AM471T00.htm> (accessed 1.3.24).
- Fath, B.D., Scharler, U.M., Ulanowicz, R.E., Hannon, B., 2007. Ecological network analysis: network construction. *Ecological Modelling* 208, 49–55. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.04.029>
- Fell, R., 1994. Landslide risk assessment and acceptable risk. *Can. Geotech. J.* 31, 261–272. <https://doi.org/10.1139/t94-031>
- Feng, X., Porporato, A., Rodriguez-Iturbe, I., 2013. Changes in rainfall seasonality in the tropics. *Nature Clim Change* 3, 811–815. <https://doi.org/10.1038/nclimate1907>

- Global Volcanism Program | Mayon [WWW Document], n.d. . Smithsonian Institution | Global Volcanism Program. URL <https://volcano.si.edu/volcano.cfm?vn=273030> (accessed 12.29.23).
- Growth and Yield Performance of Peanut (*Arachis hypogaea*) Lines in Pampanga, Philippines | JPAIR Multidisciplinary Research, 2023.
- Hendrickson, J.R., Hanson, J.D., Tanaka, D.L., Sassenrath, G., 2008. Principles of integrated agricultural systems: Introduction to processes and definition. *Renewable Agriculture and Food Systems* 23, 265–271. <https://doi.org/10.1017/S1742170507001718>
- Houghton, B., Carey, R.J., 2015. Pyroclastic Fall Deposits, in: *The Encyclopedia of Volcanoes*. Elsevier, pp. 599–616. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385938-9.00034-1>
- Jacomy, M., Venturini, T., Heymann, S., Bastian, M., 2014. ForceAtlas2, a Continuous Graph Layout Algorithm for Handy Network Visualization Designed for the Gephi Software. *PLOS ONE* 9, e98679. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0098679>
- Jenkins, S. F., Wilson, T., Magill, C., Miller, V., Stewart, C., Blong, R., Marzocchi, W., Boulton, M., Bonadonna, C., Costa, A., 2015. Volcanic ash fall hazard and risk, in: Loughlin, S.C., Sparks, S., Brown, S.K., Jenkins, Susanna F., Vye-Brown, C. (Eds.), *Global Volcanic Hazards and Risk*. Cambridge University Press (CUP), Cambridge, UK, pp. 173–221. <https://doi.org/10.1017/CBO9781316276273.005>
- Keller, E., DeVecchio, D., Blodgett, R., 2019. Natural Hazards: Earth’s Processes as Hazards, Disasters, and Catastrophes. <https://doi.org/10.4324/9781315164298>
- Kulkarni, G., Mogle, U., Arts, B., 2011. Characterization and Evaluation of Horse Gram (*Macrotyloma uniflorum* (Lam) Verdcourt Genotypes.
- Lamanda, N., Dauzat, J., Jourdan, C., Martin, P., Malézieux, E., 2008. Using 3D architectural models to assess light availability and root bulkiness in coconut agroforestry systems. *Agroforest Syst* 72, 63–74. <https://doi.org/10.1007/s10457-007-9068-3>
- Larousse, É., n.d. Définitions : agriculture - Dictionnaire de français Larousse [WWW Document]. URL <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/agriculture/1773> (accessed 8.10.23).
- Le Guern, F., Bernard, A., Chevrier, R., 1980. Soufrière of guadeloupe 1976–1977 eruption - mass and energy transfer and volcanic health hazards. *Bulletin of Volcanology* 43, 577–593. <https://doi.org/10.1007/BF02597694>
- Ligot, N., 2022. Crop vulnerability to tephra fall in volcanic regions: field, experimental and modelling approaches.
- Ligot, N., Guevara, A., Delmelle, P., 2022. Drivers of crop impacts from tephra fallout: Insights from interviews with farming communities around Tungurahua volcano, Ecuador. *Volcanica* 5, 163–181. <https://doi.org/10.30909/vol.05.01.163181>
- Ligot, N., Viera, W., Peñaherrera, D., Bernard, B., Bogaert, P., Delmelle, P., 2023. A quantitative assessment of crop vulnerability to tephra hazard at Tungurahua volcano, Ecuador: understanding the effect of volcanic and biological factors. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2915673/v1>
- Lirer, L., Vitelli, L., 1998. Volcanic Risk Assessment and Mapping in the Vesuvian Area Using GIS. *Natural Hazards* 17, 1–15. <https://doi.org/10.1023/a:1007977110144>
- Longstreth, D., Nobel, P., 1980. Nutrient influences on leaf photosynthesis. Effects of nitrogen, phosphorus, and potassium for *Gossypium hirsutum* L. *Plant physiology* 65, 541–3. <https://doi.org/10.1104/pp.65.3.541>
- Lou, P., Zhao, J., Kim, J.S., Shen, S., Del Carpio, D.P., Song, X., Jin, M., Vreugdenhil, D., Wang, X., Koornneef, M., Bonnema, G., 2007. Quantitative trait loci for flowering time and

- morphological traits in multiple populations of *Brassica rapa*. *Journal of Experimental Botany* 58, 4005–4016. <https://doi.org/10.1093/jxb/erm255>
- Loughlin, S., Sparks, S., Brown, S., Jenkins, S., Vye-Brown, C., 2015. Global Volcanic Hazards and Risk.
- Magill, C., Wilson, T., Okada, T., 2013. Observations of tephra fall impacts from the 2011 Shinmoedake eruption, Japan. *Earth Planet Sp* 65, 677–698. <https://doi.org/10.5047/eps.2013.05.010>
- Martinez-Villegas, Ma.M., Solidum, R.U., Saludadez, J.A., Pidlaoan, A.C., Lamela, R.C., 2021. Moving for safety: a qualitative analysis of affected communities' evacuation response during the 2014 Mayon Volcano eruption. *Journal of Applied Volcanology* 10, 6. <https://doi.org/10.1186/s13617-021-00109-4>
- Masciocchi, M., Pereira, A.J., Lantschner, M.V., Corley, J.C., 2013. Of volcanoes and insects: the impact of the Puyehue–Cordon Caulle ash fall on populations of invasive social wasps, *Vespula* spp. *Ecol Res* 28, 199–205. <https://doi.org/10.1007/s11284-012-1004-y>
- Neild, J., O'Flaherty, P., Hedley, P., Underwood, R., Johnston, D., Christenson, B., n.d. Impact of a Volcanic Eruption on Agriculture and Forestry in New Zealand.
- Newhall, C., Self, S., 1982. The Volcanic Explosivity Index (VEI): An Estimate of Explosive Magnitude for Historical Volcanism. *Journal of Geophysical Research* 87, 1231–1238. <https://doi.org/10.1029/JC087iC02p01231>
- Philippine Statistics Authority | RSSO V | Solid, Responsive, World Class [WWW Document], n.d. URL <https://rso05.psa.gov.ph/albay/population> (accessed 8.23.23).
- Pineda, M., Morante, N., Salazar, S., Cuásquer, J., Hyde, P.T., Setter, T.L., Ceballos, H., 2020. Induction of Earlier Flowering in Cassava through Extended Photoperiod. *Agronomy* 10, 1273. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091273>
- Porter, K., Hamburger, R., Kennedy, R., 2007. Practical Development and Application of Fragility Functions, in: *Structural Engineering Research Frontiers. Presented at the Research Frontiers at Structures Congress 2007, American Society of Civil Engineers, Long Beach, California, United States*, pp. 1–16. [https://doi.org/10.1061/40944\(249\)23](https://doi.org/10.1061/40944(249)23)
- Pyle, D.M., 2015. Sizes of Volcanic Eruptions, in: *The Encyclopedia of Volcanoes*. Elsevier, pp. 257–264. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385938-9.00013-4>
- Rhoades, R.E., 1985. Informal Survey Methods for Farming Systems Research. *Human Organization* 44, 215–218.
- Richardson, K.V., n.d. EVALUATION OF TWO STRING BEAN (*PHASEOLUS VULGARIS* L.) VARIETIES GROWN FOR THE FRESH MARKET.
- Riede, F., Kierdorf, U., 2020. The eruption of the Laacher See volcano (~13,000 years BP) and possible fluoride poisoning amongst contemporaneous wildlife and human foragers—Outline of a hypothesis and the way to test it. *Int J Osteoarchaeol* 30, 855–871. <https://doi.org/10.1002/oa.2916>
- Rogers, N., 2015. The Composition and Origin of Magmas, in: *The Encyclopedia of Volcanoes*. Elsevier, pp. 93–112. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385938-9.00004-3>
- Rothman-Ostrow, P., Gilbert, W., Rushton, J., 2020. Tropical Livestock Units: Re-evaluating a Methodology. *Frontiers in Veterinary Science* 7.
- Ruth, D.C.S., Costa, F., 2021. A petrological and conceptual model of Mayon volcano (Philippines) as an example of an open-vent volcano. *Bull Volcanol* 83, 62. <https://doi.org/10.1007/s00445-021-01486-9>

- Shoji, S., Dahlgren, R., Nanzyo, M., 1993. Chapter 2 Morphology of Volcanic Ash Soils, in: Shoji, Sadao, Nanzyo, Masami, Dahlgren, Randy (Eds.), *Developments in Soil Science, Volcanic Ash Soils*. Elsevier, pp. 7–35. [https://doi.org/10.1016/S0166-2481\(08\)70263-0](https://doi.org/10.1016/S0166-2481(08)70263-0)
- Siebert, L., Cottrell, E., Venzke, E., Andrews, B., 2015. Earth's Volcanoes and Their Eruptions: An Overview, in: *The Encyclopedia of Volcanoes*. Elsevier, pp. 239–255. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385938-9.00012-2>
- Small, C., Naumann, T., 2001. The global distribution of human population and recent volcanism. *Environmental Hazards* 3, 93–109. <https://doi.org/10.3763/ehaz.2001.0309>
- Spedding, C., 2012. *An Introduction to Agricultural Systems*. Springer Science & Business Media.
- Stark, F., Archimède, H., González-García, E., Pocard-Chapuis, R., Fanchone, A., Moulin, C.H., 2019. Evaluation des performances agroécologiques des systèmes de polyculture-élevage en milieu tropical humide : application de l'analyse de réseaux écologiques. *Innovations Agronomiques* 72, 1-14. <https://doi.org/10.15454/L1W6US>
- Stark, F., Fanchone, A., Semjen, I., Moulin, C.-H., Archimède, H., 2016. Crop-livestock integration, from single practice to global functioning in the tropics: Case studies in Guadeloupe. *European Journal of Agronomy* 80, 9–20. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.06.004>
- Takla, E.M., Yoshikawa, A., Kawano, H., Uozumi, T., Abe, S., 2014. Anomalous geomagnetic variations associated with the volcanic activity of the Mayon volcano, Philippines during 2009–2010. *NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics* 3, 130–136. <https://doi.org/10.1016/j.nrjag.2014.09.001>
- Tarasenko, I., 2018. Environmental effects of volcanic eruptions : a multidisciplinary study of tephra impacts on plant and soil. UCL - Université Catholique de Louvain.
- UNDRO, 1980. Natural disasters and vulnerability analysis :: report of Expert Group Meeting, 9-12 July 1979. Presented at the Expert Group Meeting on Vulnerability Analysis (1979 : Geneva), UN,.
- UNESCO, 2003. Education for rural development: towards new policy responses - UNESCO Bibliothèque Numérique.
- UNESCO, 1972. Report of Consultative Meeting of Experts on the Statistical Study of Natural Hazards and Their Consequences.
- UN/ISDR, 2007. Living with risk: a global review of disaster reduction initiatives | UNDRR [WWW Document]. URL <http://www.undrr.org/publication/living-risk-global-review-disaster-reduction-initiatives> (accessed 1.7.24).
- Usamah, M., Haynes, K., 2012. An examination of the resettlement program at Mayon Volcano: what can we learn for sustainable volcanic risk reduction? *Bull Volcanol* 74, 839–859. <https://doi.org/10.1007/s00445-011-0567-8>
- Valentine, G.A., Graettinger, A.H., Sonder, I., 2014. Explosion depths for phreatomagmatic eruptions. *Geophysical Research Letters* 41, 3045–3051. <https://doi.org/10.1002/2014GL060096>
- VMEPD: Eruption History [WWW Document], n.d. URL <https://wovodat.phivolcs.dost.gov.ph/volcano/erupt-history?volcan=574&sdate=&edate=&btn-search=> (accessed 12.29.23).
- Weinstein, L.H., Davison, A.W., 2003. *Fluorides in the Environment: Effects on Plants and Animals*. CABI, Cambridge, UNITED KINGDOM.

- Wilson, T., Cole, J., Cronin, S., Stewart, C., Johnston, D., 2011. Impacts on agriculture following the 1991 eruption of Vulcan Hudson, Patagonia: lessons for recovery. *Nat Hazards* 57, 185–212. <https://doi.org/10.1007/s11069-010-9604-8>
- Wilson, T., Kaye, G., Stewart, C., Cole, J., 2007. Impacts of the 2006 eruption of Merapi volcano, Indonesia, on agriculture and infrastructure.
- Wilson, T.M., Cole, J.W., Stewart, C., Cronin, S.J., Johnston, D.M., 2011. Ash storms: impacts of wind-remobilised volcanic ash on rural communities and agriculture following the 1991 Hudson eruption, southern Patagonia, Chile. *Bull Volcanol* 73, 223–239. <https://doi.org/10.1007/s00445-010-0396-1>
- Wilson, T.M., Jenkins, S., Stewart, C., 2015. Chapter 3 - Impacts from Volcanic Ash Fall, in: Shroder, J.F., Papale, P. (Eds.), *Volcanic Hazards, Risks and Disasters*, Hazards and Disasters Series. Elsevier, Boston, pp. 47–86. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-396453-3.00003-4>
- Wilson, T.M., Kaye, G.D., 2007. Agricultural fragility estimates for volcanic ash fall hazards, GNS Science report. GNS Science, Lower Hutt, N.Z.
- Yuan, Q., Saito, H., Okumoto, Y., Inoue, H., Nishida, H., Tsukiyama, T., Teraishi, M., Tanisaka, T., 2009. Identification of a novel gene ef7 conferring an extremely long basic vegetative growth phase in rice. *Theor Appl Genet* 119, 675–684. <https://doi.org/10.1007/s00122-009-1078-2>

Annexes

A. Questionnaire utilisé lors des interviews

Questionnaire for farm n°

1. Contact information and generalities

1. Contact information

First name	
Last name	
Date of birth	
Residence address	
Phone number	
If more information is needed, I can be contacted by:	Mail - phone - WhatsApp - Other:

2. Farm – Generalities

- **Address:**

- **Total surface area of the farm (taking into account all crop fields, buildings and/or plots dedicated to livestock, and infrastructures):**

Make sure that the farmer gives correct units, such as square kilometers or hectares, and that the information is trustworthy, or give a reliability index on a scale of 1 (least reliable) to 5.

- **Type of production (select all that apply):**

apiary – crops – flower – hay – rice – orchard – vineyard

Livestock raising: poultry – cows – pigs – goats; meat – eggs – dairy

Other:

- **Type of income source (select all that apply):**

commercial – cooperative – subsistence farm

- **Additional information:**

3. Landscape

Please use the provided page of the questionnaire to sketch the farm and the locations of its elements, including fields, farmhouse, and other buildings such as animal housings or garages. Give the approximate distances between the different farm's elements and indicate the presence of key landscape features around the farm, for example, a river, a lake, a spring, a valley, a ridge, a hill, a forest, a mountain, a volcano, a large industrial complex, a highway...

- **Additional information:**

We will ask questions about how your farm works, the types of animals you raise, the types of crops you grow, and so on. We would like you to provide information about your farm as it is today, and the time period considered is one year. For example, when reporting the number of animals you sell, indicates the number per year.

2. Livestock system

1. Description of the livestock system

- **What are the types of farm animals that you raise, and how many of each type?**
(*example: three goats and five pigs*)

- **Are the animals kept outside or inside, and for how long during an average year?**

- **If animals are kept inside a building, what do you with the dejections?**

If the dejections are stored:

- **In which form(s)?**
- **For how long?**
- **For what purposes?**

If the dejections are not stored or used:

- **What is the reason for not keeping or using them?**

2. Animals

- **How many animals did you buy or receive this year (as opposed to those born in your farm)? Is that usual or was this year different from a typical year (and why)?**

- **When did you buy or receive each animal?**

- **How much did each animal cost?**

- **For what purpose do you raise your animals (reproduction, meat production, milk production, other)?**

3. Livestock food

- Do you grow food in your farm to feed the animals?

If so, what types of crops do you grow and for which animal(s) specifically? What is the daily quantity of crop (specify which one) used to feed each animal? *(clarify the estimate if the amount varies with the season)?*

- Do you use crop residues to feed your farm animals?

If so which crop residue(s) and for which animal(s)? What is the daily quantity of crop residue (specify which one) used to feed each animal? *(clarify the estimate if the amount varies with the season)?*

- What types of animal food come from fodder storage (do you store crop residue, do you store crops that you grow specifically for your animals, do you store hay)? In what quantities?

What types of animal food do you have to get from outside your farm (market, neighbors...)? What is the daily quantity of crop residue (specify which one) used to feed each animal? *(clarify the estimate if the amount varies with the season)?*

- How much animal food do you buy? How much does the animal food cost? *(make sure that units are specified, for example kg per month, bag per month; then pesos per kg, pesos per bag, (what is bag weigh?))*

- Under which circumstances do you have to purchase food for your animals? Provide details for the different food types given *(example: I buy fodder for the cow during two months in the dry season. Make sure to specify time periods for each special circumstance).*

4. Livestock grazing

- Do you let your animals graze?

If so, please fill in the table below, indicating which animals are allowed to graze, on what type of land, the surface of that land, and how long each type of animal is allowed to graze in that spot.

Type of land	Surface	Type and number of animals	Time period
Crop plots (in between crops, for example after harvesting rice and before sowing eggplants)			

Pasture (plots where you don't grow crops, only grass for pasture)			
Other type of land (please specify the type; for example, the side of a road, or any type of land that is not one of your farm plots)			

5. Veterinary products (medicine or vaccine) given to animals

- For each animal type you own and for which you use veterinary products, please fill in the table below:

Type of animal	Type of veterinary product (vaccine, medicine, vitamins...) and purpose (sickness, prevention, fattening...)	Frequency of use (once a day, once a month...)	Quantity (make sure to specify the unit, how much does a tablet weigh, how much does a syringe contain...)

- How much does each veterinary product you use cost? (make sure to clarify units: pesos per injection, pesos per vial (and how long can you use one vial), pesos per month...)

6. Livestock outflow

- What types of animals do you sell and how many did you sell this year? Is that usual or is this year different from a typical year (and why)?
- At what age is an animal sold (provide details by animal type)? (for example, do you sell piglets when they are two months old, or do you fatten them and sell them when they are six months old?)

- **For what purpose do you sell your animals** (*provide details by animal type*)?
(*example: for butchering, for someone else to raise...*)
- **How much do you sell the animal for** (*provide estimate for each animal type*)?
- **Are any animals kept for the farm household self-consumption?**
If so, which animals and in how many? (*clarify units, for example, one pig/year*)
- **Are any animal products sold?**
If so, which ones and in what quantity (*clarify units, for example, kg/year*)
How much do you sell your animal products for? (*clarify units, for example, pesos per kg, pesos per liter, pesos per bag (what is bag weigh?)*)
- **Are any animal products kept for the farm household self-consumption?**
If so, which ones and in what quantity? (*clarify units, for example, kg/year*)

3. Cropping system

Please keep in mind that even though we want information about the farm for a year, it is important for us to know if the farmer grows different crops on different years, in a crop cycle (for example, corn on year 1, then eggplants on year 2, then corn again on year 3). This is why some of the questions here will have a “*crop cycle*” sub-question, in case the farmer does use an interannual crop rotation (which is the first question).

1. Description of the crops

- **Do you always plant the same crops every year, or are there crops that you only grow every two years (or more)?** Answer is “yes” if the same crop is grown every year and “no” if a different crop is grown every year or every few years. (*If answer is “no”, ask all the “crop cycle” sub-questions below. If answer is “yes”, then the “crop cycle” sub-questions can be skipped*).
- **What are the crops that you cultivate in your farm? What is the surface area allocated to each crop?** *Please refer to the farm sketch to locate the different fields but remember to also write down every surface area on the questionnaire to make sure they are correct and don't rely on the sketch's scale, which might not be correct.*
Crop cycle: give details for each separate year. (example, one hectare of corn on year 1, then one hectare of eggplants on year 2).
- **Do you always grow the same crops on the same plots?** (*example, a farmer has 1.5 ha of land, divided into 1 ha and 0.5 ha; does he/she grow corn on the 1 ha plot and eggplant on the 0.5 ha plot every time, or corn on the 1 ha plot and eggplant on the 0.5 ha plot one year, then corn on the 0.5 ha plot and eggplant on the 1 ha plot the next year?*).

If not, what is your crop rotation?

Note that this is not the same as the crop cycle; here a farmer grows the same thing every year, but not on the same farm plots.

- **When do you sow and harvest each crop? Please fill in the calendar attached to the questionnaire** (it will also be used for documenting the use of fertilizers, phytosanitary products, and working forces. Use one calendar per year if the farm has a crop cycle).

2. Cropping system: seeds/plants

- **Do you buy the seeds/seedlings to grow your crops, or do you produce them from your own farm with the previous harvest (provide details by crop type)?**

Crop cycle: give details for each separate year

- **What amount of seeds (weight) or seedlings (number) do you use per unit of surface area?** (clarify units for each crop type).

Crop cycle: give details for each separate year

- **How much do the seeds/seedlings you buy cost (provide details by crop type)?** (clarify units, for example pesos per bag (what is bag weigh?)), pesos per plant...)

Crop cycle: give details for each separate year

- **Are the seeds you use chemically treated (for instance, to prevent fungal diseases)?**

Crop cycle: give details for each separate year

3. Cropping system: fertilizers

- **Do you use composted crops as fertilizer?**

If so, which crops are composted and how much composted crops do you apply and how often? At what time of the year (before sowing, a month after...)? Provide details for each crop you grow. Please fill in the calendar.

- **Do you use animal manure as fertilizer?**

If so, from which animals?

Do the animals graze and fertilize the grazing plot, or are they kept inside?

If they are kept inside, how is the manure collected and stored?

How long are the animals kept inside during the year, and how many animals? (example, two cows inside for three months, one mother pig inside all year and five piglets inside for two months every year. Keep in mind that each type of animal produces a different quantity of manure, and we want the best estimate possible. This question allows us to cross reference the amount given previously).

- **How much manure do you apply to your crops and how often? At what time of the year (before sowing, a month after...)? Provide details for each crop you grow. Please fill in the calendar.**

- Do you purchase fertilizer?

If so, what type of fertilizer do you purchase?

- How much of the purchased fertilizer do you apply and how often? At what time of the year (before sowing, a month after...)? Provide details for each crop you grow. Please fill in the calendar.

- How much does the fertilizer cost? (clarify units, for example pesos per kg, pesos per bag (what is bag weigh?)).

- Do you apply fertilizer systematically, or in a particular situation? If so, in which situation? Crop cycle: give details for each separate year.

4. Cropping system: phytosanitary/protection products

Crop type	Type of phytosanitary product (fungicide, pesticide...) and purpose (sickness, prevention...)	Frequency of use (once a month, once before sowing...) If the use is systematic for a given crop, please fill in the calendar to indicate when you use them.	Quantity used per surface area

- **How much does each of the phytosanitary product you use cost?** *(clarify units, for example pesos per kg, pesos per bag (what is bag weigh?))*

5. Cropping system outflows

- **What crops do you sell and in what quantity? Provide quantity for each crop you grow.** *Crop cycle: give details for each separate year.*

- **How much do you sell your crops for? Provide details for each crop you grow.** *(make sure to clarify the units, for example pesos per kg, pesos per bag (what is bag weigh?))*

Crop cycle: give details for each separate year.

What do you keep for personal consumption and in what quantity? Provide quantity for each crop you grow.

Crop cycle: give details for each separate year.

- **What amount of fodder is stored?**

4. Working forces

1. Generalities

- **How many people work daily on the farm?**

- **How much do you pay your workers** *(example: how much pesos per hour, pesos per harvest...)?*

- **Do you share facilities and/or equipment with your neighbors?**

If so, which ones, and how does everyone pay to use them?

- **What is the farm's main activity and what is the average income generated yearly for this activity?**

2. Cropping system

- **Please fill in the calendar to specify the hours of work and number of workers you need for every operation regarding the cropping system.** *(For example, if the farmer harvests coconuts in February for 8 hours a day, for four days, with three seasonal workers, use the February/Harvest slot to write "Coconut, 8h, 4 days, 3 workers")*

- **Additional information:**

3. Livestock system

- **How many working hours do you need to tend to each type of your animals?**

- **Do you need workers to tend to your animals?**
If so, for which animals, and how many workers and hours per day?

- **Additional information:**

5. Expenses and income

Note that, here, we want to make a recap of all the data collected so far. We have already asked about individual expenses, but here is an opportunity not only to have all the information in the same place but also to make sure the first information was correct.

1. Generalities

- **What is the total income of your farm per year on average?**
- **What are the total expenses of your farm per year on average?**
- **Do you have other sources of income besides your farming activity? If so, what are these activities and how much income do they generate?**

2. Cropping system and livestock system

- **Please fill in the summary table at the end of the questionnaire of all expenses and incomes linked to every type of animal and crop the farmer has.**
- **Additional information:**

6. Concerns and fears

- **What is the major constraint on the farm's activities? Please explain in detail.**
- **Are you facing other constraints or problems on a regular basis?**
- **What are your main concerns and fears regarding the future as a farmer in this region?**
- **What are your future plans for your farm?**
- **Additional information**

7. The volcano and volcanic ashfall

- What did bring you here (i.e. to farm in an area that may be affected by an eruption from Mayon volcano)?
- In your opinion, what is the main risk that the volcano poses to your farming activities?
- Is volcanic ash fall bad or good to farming? Is it always good or always bad? Can you elaborate?
- Are you alerted of an impending volcanic eruption and how (siren sound, TV/radio news, text message)?
- What do you do in priority to protect your farm assets (crops, livestock, infrastructure) when you have to evacuate due to an impending eruption?
- After an ash fall event, do you clean crop plants that have received ash? Do you clean the soil? Do you clean water reservoirs where the livestock animals drink? How do you do that?
- Are there other operations you need to do after a volcanic ashfall affected your farm?
- How frequent are volcanic ash deposits on your farm? Do you consider having ash on your farm to be a “normal” situation, or something unusual?
If dealing with ash on your farm is not “normal”, how much time does it usually take to come back to a “normal” situation after a volcanic ash deposit, with no consequences from ashfall?
- In your experience with previous ashfall from volcanic eruptions, what are the factors that have helped you go back to that “normal” situation?
- What do you think should be done (by yourself, your community, the authorities...) to allow you to go back to a “normal” situation after a volcanic ashfall, regarding your farming activities?
- Please fill in the table below, evaluating the volcanic impact on each of your farm elements, and give us some details as to why you characterize the impact this way. *For example, “Element 1: bananas, impact of 1 because I lost a small portion of the harvest after the eruption” or “Good 2: pineapple, impact of 3 because the whole harvest was lost and I had to replant the whole field”. The impact can be negative (-3 to -1), neutral (0, no impact) or positive (+1 to +3). 1 is a slight impact, 2 is moderate and 3 is important.*

	Farm element (crop, animal...)		Additional information
How do you evaluate the economic impact of volcanic ash fall on these elements of your farm and why? (0 no impact; 5 strongest impact)		-3 -2 -1 0 +1 +2 +3	
		3 -2 -1 0 +1 +2 +3	
		3 -2 -1 0 +1 +2 +3	
		3 -2 -1 0 +1 +2 +3	
		3 -2 -1 0 +1 +2 +3	
		3 -2 -1 0 +1 +2 +3	
		3 -2 -1 0 +1 +2 +3	
		3 -2 -1 0 +1 +2 +3	
		3 -2 -1 0 +1 +2 +3	
		3 -2 -1 0 +1 +2 +3	
		3 -2 -1 0 +1 +2 +3	
	Permanent grassland	3 -2 -1 0 +1 +2 +3	
	Stored manure	3 -2 -1 0 +1 +2 +3	
	Fodder	3 -2 -1 0 +1 +2 +3	
How do you evaluate the impact of volcanic ash fall on crop yield of these elements of your farm and why? (0 no impact; 5 strongest impact)		3 -2 -1 0 +1 +2 +3	
		3 -2 -1 0 +1 +2 +3	
		3 -2 -1 0 +1 +2 +3	
		3 -2 -1 0 +1 +2 +3	
		3 -2 -1 0 +1 +2 +3	
		3 -2 -1 0 +1 +2 +3	
		3 -2 -1 0 +1 +2 +3	
		3 -2 -1 0 +1 +2 +3	
		3 -2 -1 0 +1 +2 +3	
		3 -2 -1 0 +1 +2 +3	
		3 -2 -1 0 +1 +2 +3	
	Permanent grassland	3 -2 -1 0 +1 +2 +3	
	Stored manure	3 -2 -1 0 +1 +2 +3	
	Fodder	3 -2 -1 0 +1 +2 +3	
How do you evaluate the impact of volcanic ash fall on infrastructures (buildings, water supplies, ...) of these elements and why? (0 no impact; 5 strongest impact)		3 -2 -1 0 +1 +2 +3	
		3 -2 -1 0 +1 +2 +3	
		3 -2 -1 0 +1 +2 +3	
		3 -2 -1 0 +1 +2 +3	
		3 -2 -1 0 +1 +2 +3	
		3 -2 -1 0 +1 +2 +3	
		3 -2 -1 0 +1 +2 +3	
		3 -2 -1 0 +1 +2 +3	
		3 -2 -1 0 +1 +2 +3	
		3 -2 -1 0 +1 +2 +3	
		3 -2 -1 0 +1 +2 +3	
		3 -2 -1 0 +1 +2 +3	
		3 -2 -1 0 +1 +2 +3	

	Permanent grassland	3 -2 -1 0 +1 +2 +3		
	Stored manure	3 -2 -1 0 +1 +2 +3		
	Fodder	3 -2 -1 0 +1 +2 +3		
Please specify which farm good you are referring to. For example, coconut; banana; cows...				

- Do volcanic eruptions affect the people around you (your family, your neighbors, the people in the Barangay)? If so, in what way?

B. Fonctions de fragilité utilisées pour la détermination des coefficients

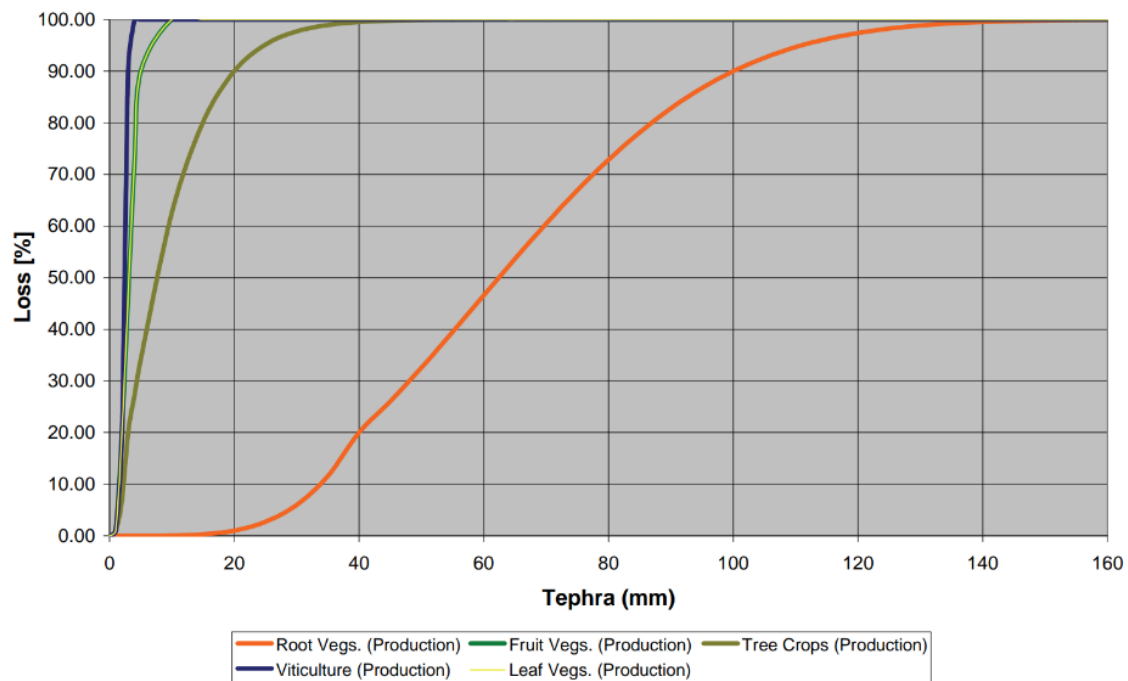


Figure 38 - Pourcentages de pertes de l'horticulture en fonction de l'épaisseur de dépôts de téphra (Wilson et Kaye, 2007)

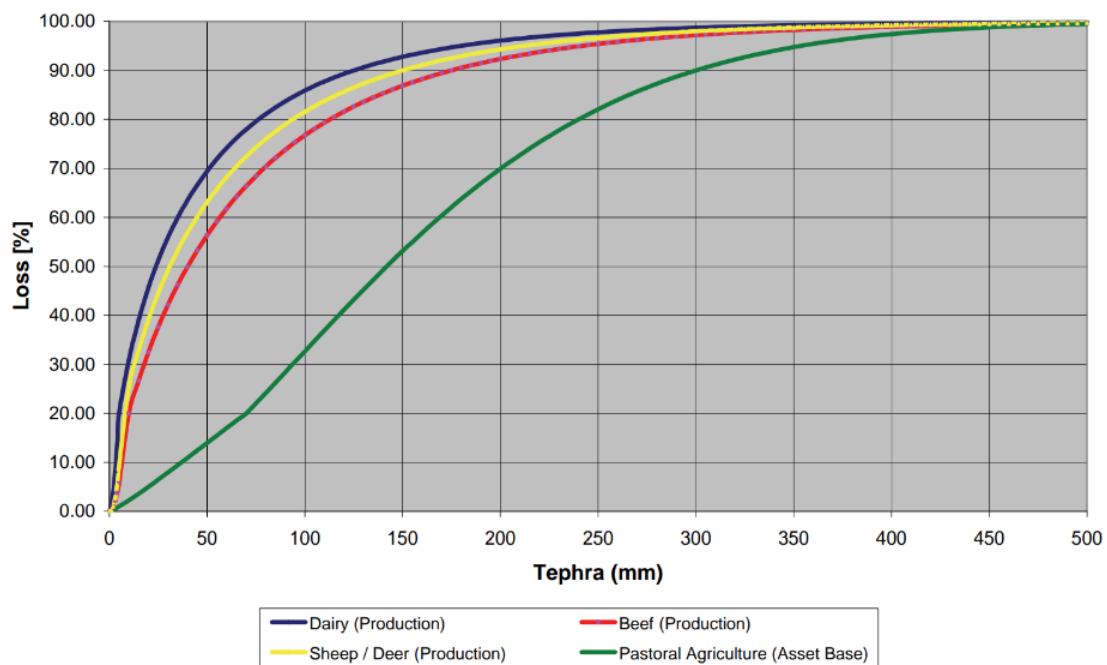


Figure 39 - Pourcentages de pertes de l'agriculture pastorale en fonction de l'épaisseur de dépôts de cendres (Wilson et Kaye, 2007)

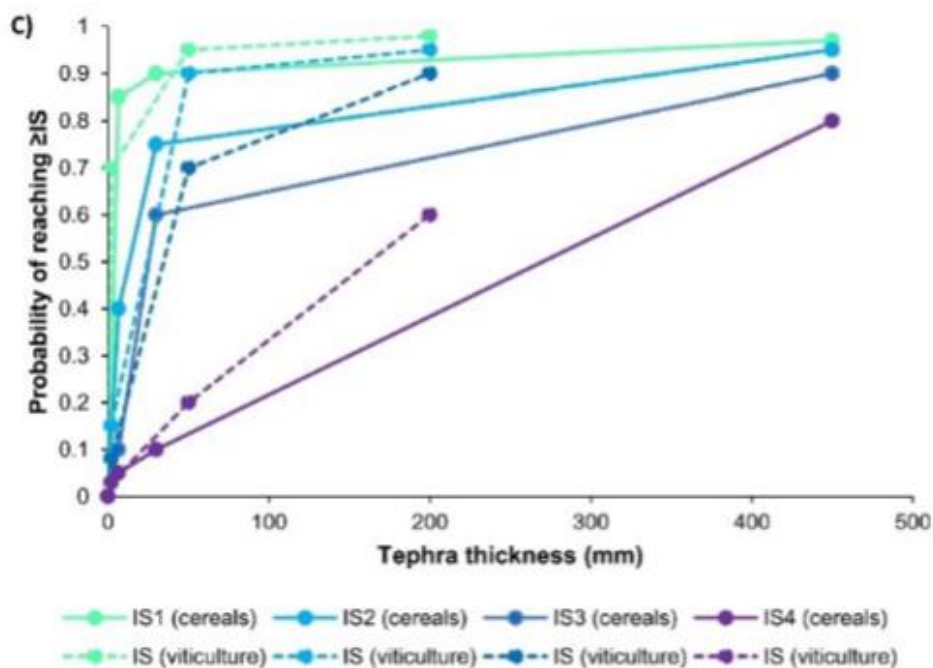


Figure 41 - Fonctions de fragilité pour les céréales et la viticulture (Craig et al., 2021)

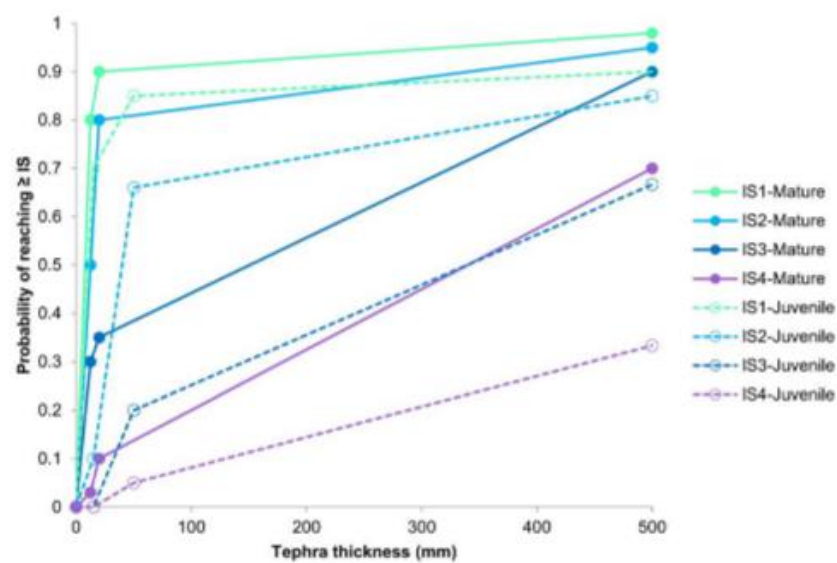


Figure 40 - Fonctions de fragilité pour le riz (Craig et al., 2021)

Tableau 24 - Coefficients de saisonnalité pour le riz au stade juvénile et au stade mature en fonction de l'épaisseur du dépôt de téphra (Craig et al., 2021)

Thickness (mm)	Mature	Juvenile
1–15	1	0.77
16–100	1	0.66
101–1000	1	0.81

IS	Description	Effects on production	Damages
0	No disruption	No production change.	No damage.
1	Some disruption	Slightly lower productivity but re-coverable harvest.	<75 % vegetation covered.
2	Moderate disruption Kelud eruption 2014 	Up to 30 % production loss.	Some plant breakage and damage to crops within the impacted farm; possible acid burns (due to acidic leachates coating the tephra and damaging plant tissue when in contact) and abrasion.
3	High disruption Merapi eruption 2006 	Rinsing/mitigation needed, ~60 % production loss.	Most crops within impacted farms sustain some physical damage (i.e. breakages, vegetation damage, etc.).
4	Total loss of capabilities Kelud eruption 2014 	>90 % reduction in yield; >1 season to recover.	All crops within the impacted farm damaged in some way. Possible damage to farm buildings.

Figure 42 - Etats d'impact liés aux fonctions de fragilité de l'horticulture (Craig et al., 2021)

C. Modèles conceptuels des exploitations agricoles

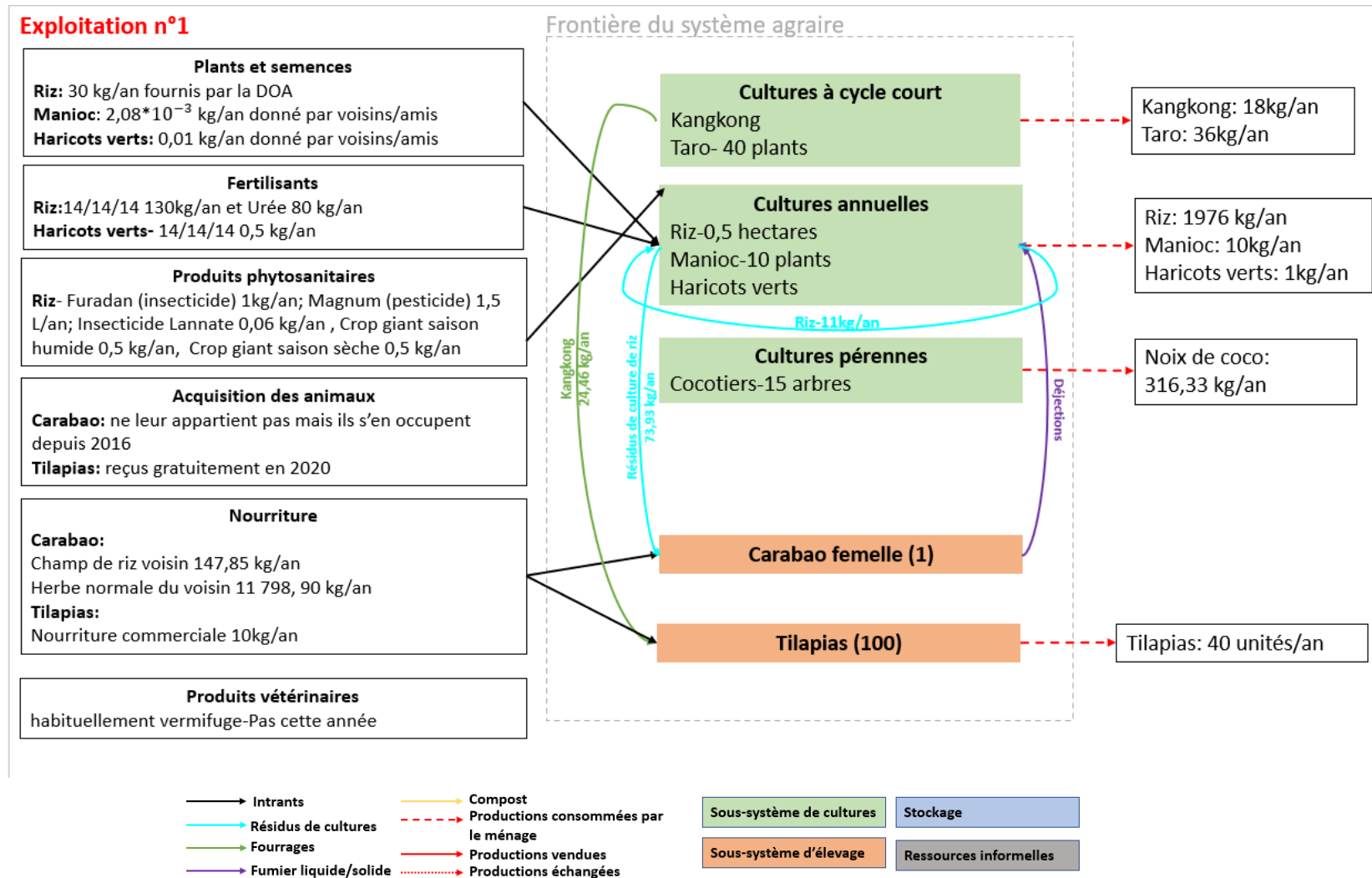


Figure 43 - Modèle conceptuel de l'exploitation n°1 réalisé sur PowerPoint

Exploitation n°2

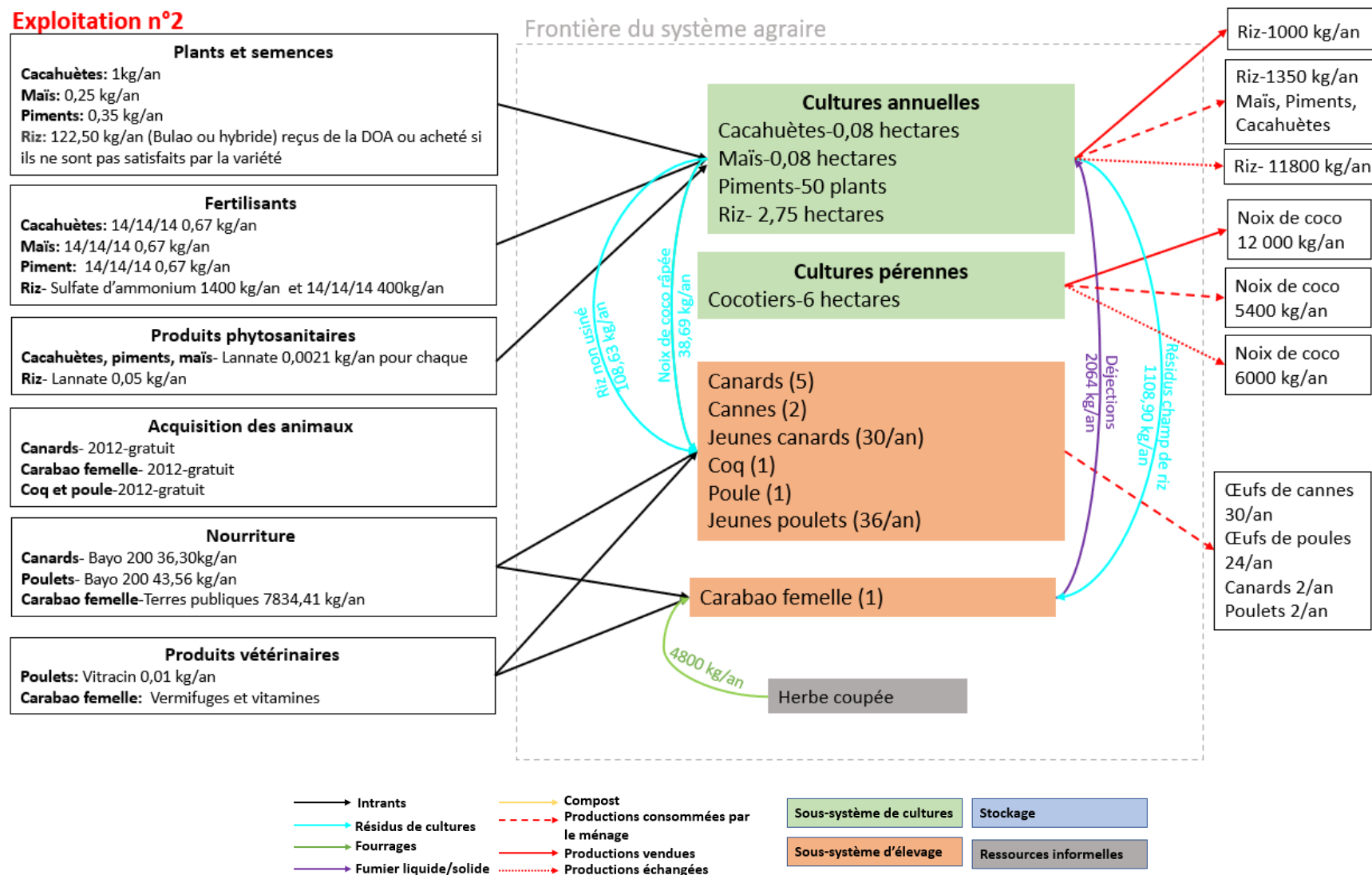


Figure 44 - Modèle conceptuel de l'exploitation n°2 réalisé sur PowerPoint

Exploitation n°3

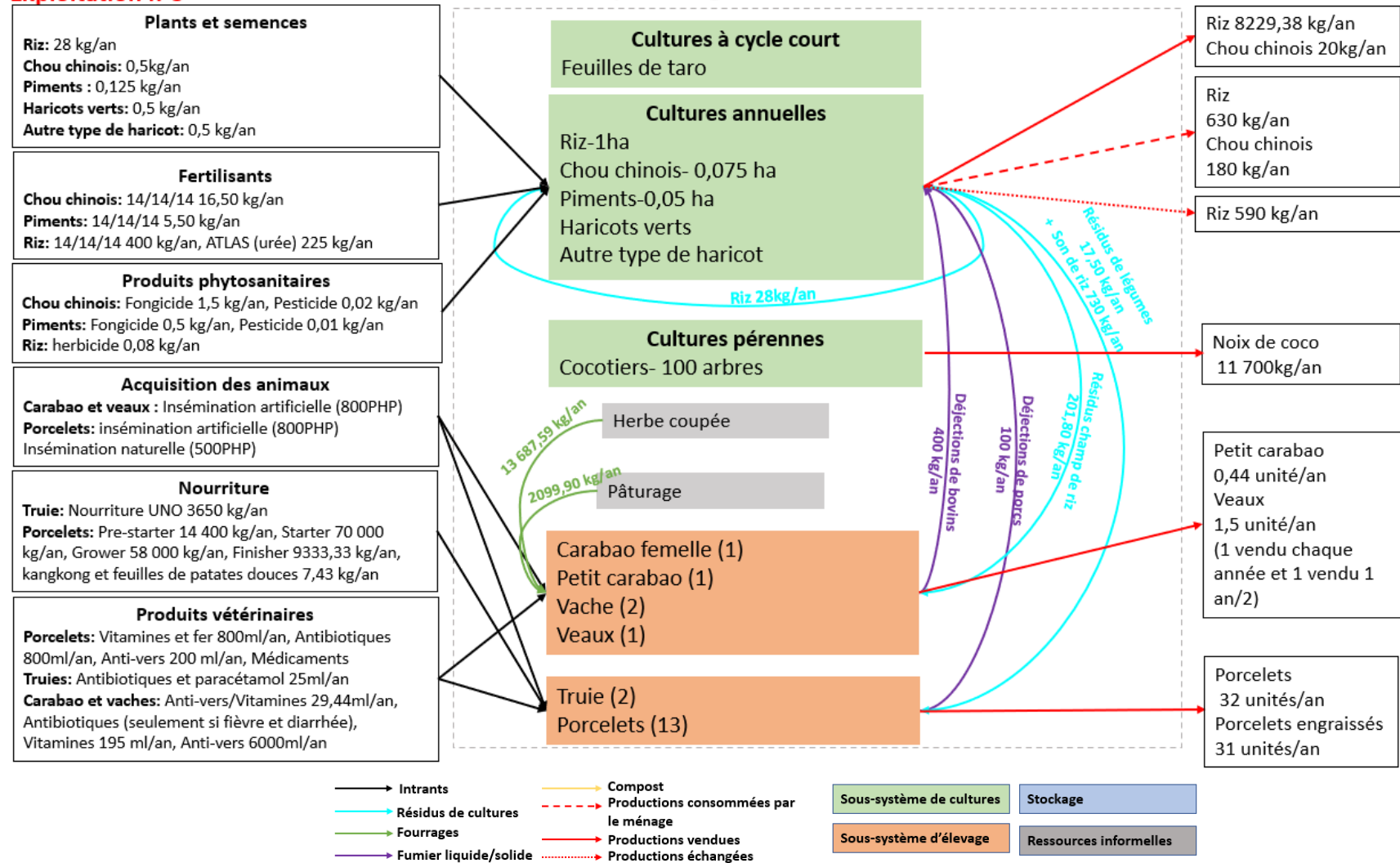


Figure 45 - Modèle conceptuel de l'exploitation n°3 réalisé sur PowerPoint

Exploitation n°4

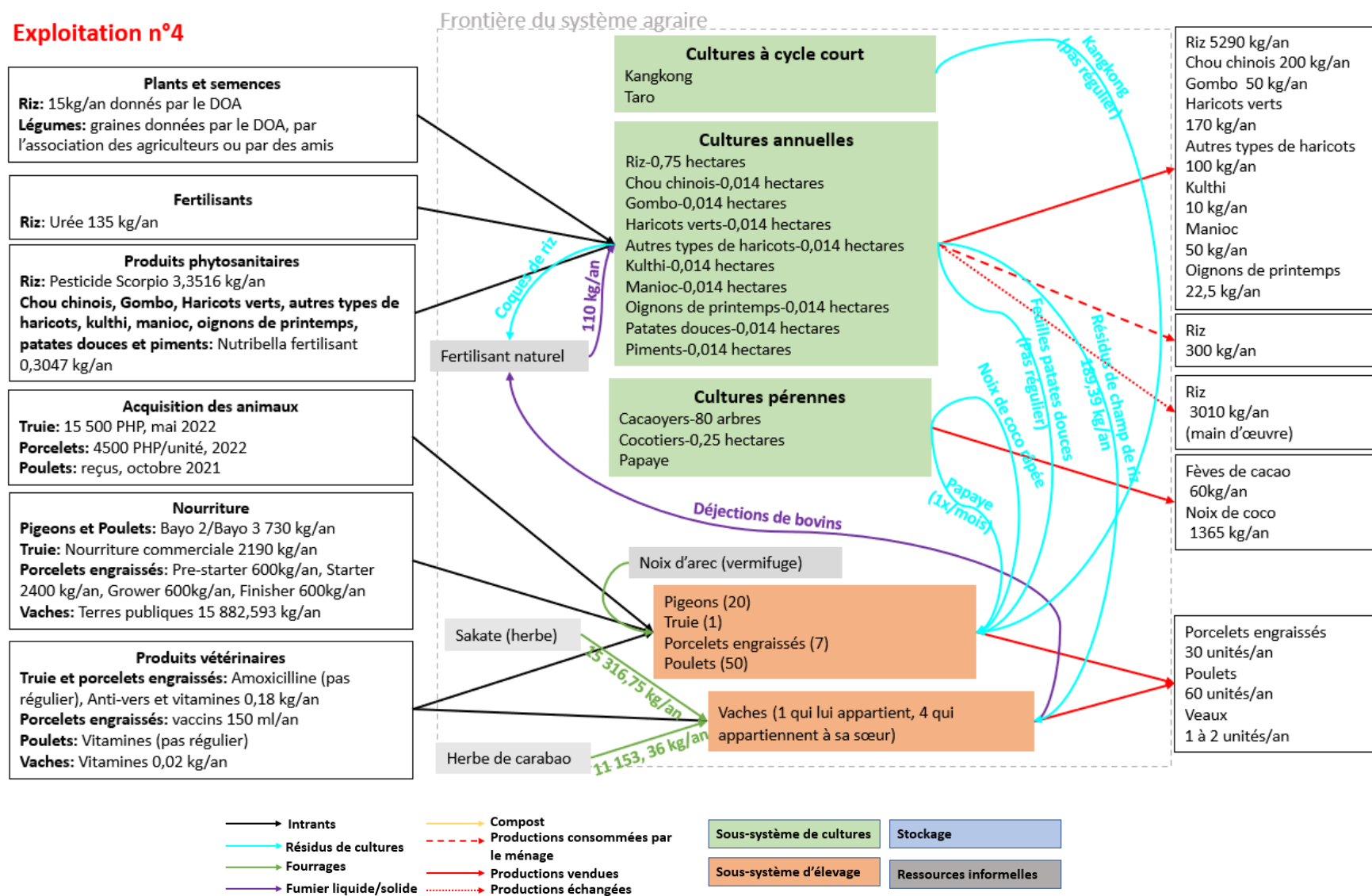


Figure 46 - Modèle conceptuel de l'exploitation n° 4 réalisé sur PowerPoint

Exploitation n°5

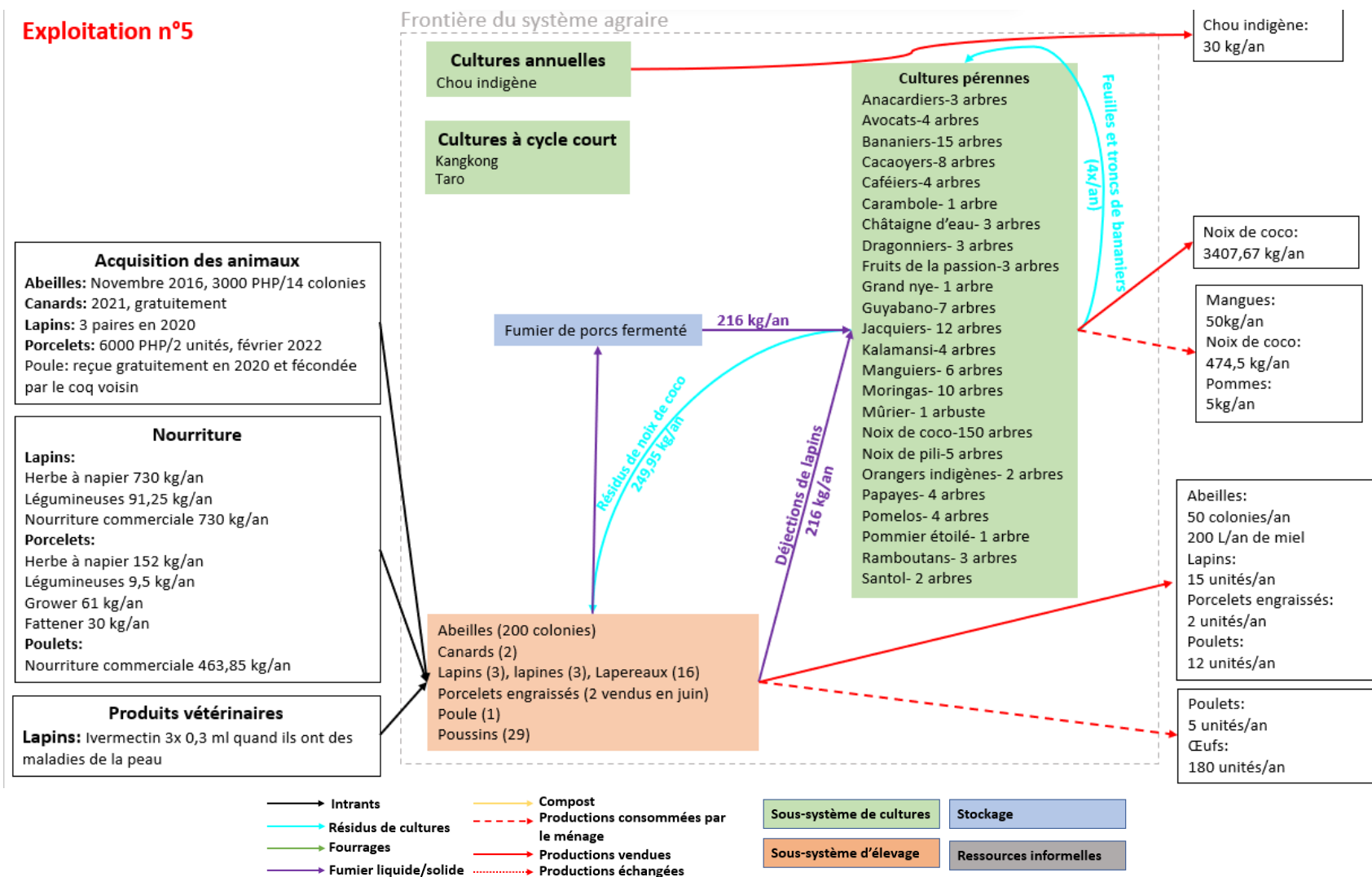


Figure 47 - Modèle conceptuel de l'exploitation n°5 réalisé sur PowerPoint

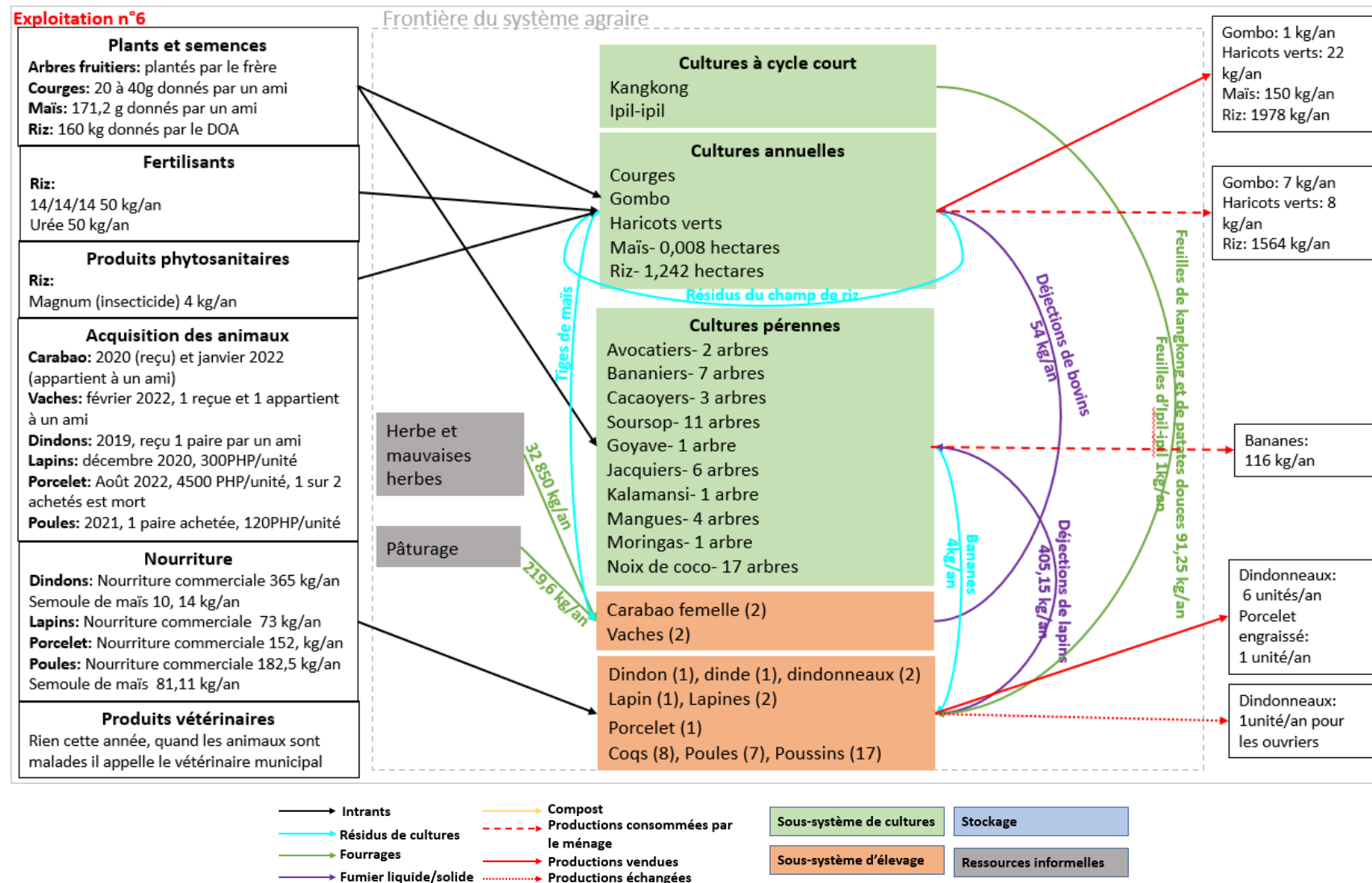


Figure 48 - Modèle conceptuel de l'exploitation n°6 réalisé sur PowerPoint

Exploitation n°7

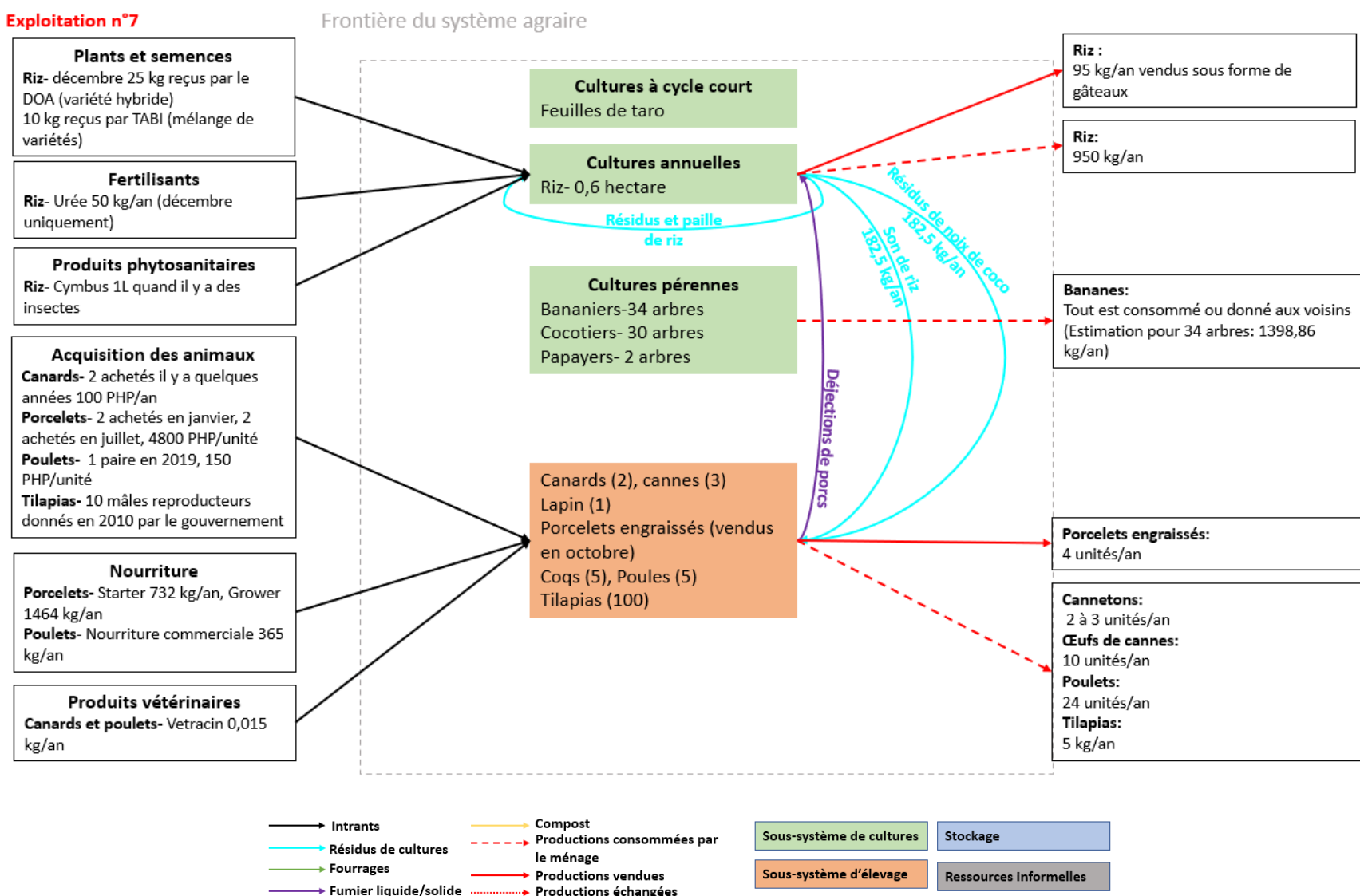


Figure 49 - Modèle conceptuel de l'exploitation n°7 réalisé sur Powerpoint

Exploitation n°8

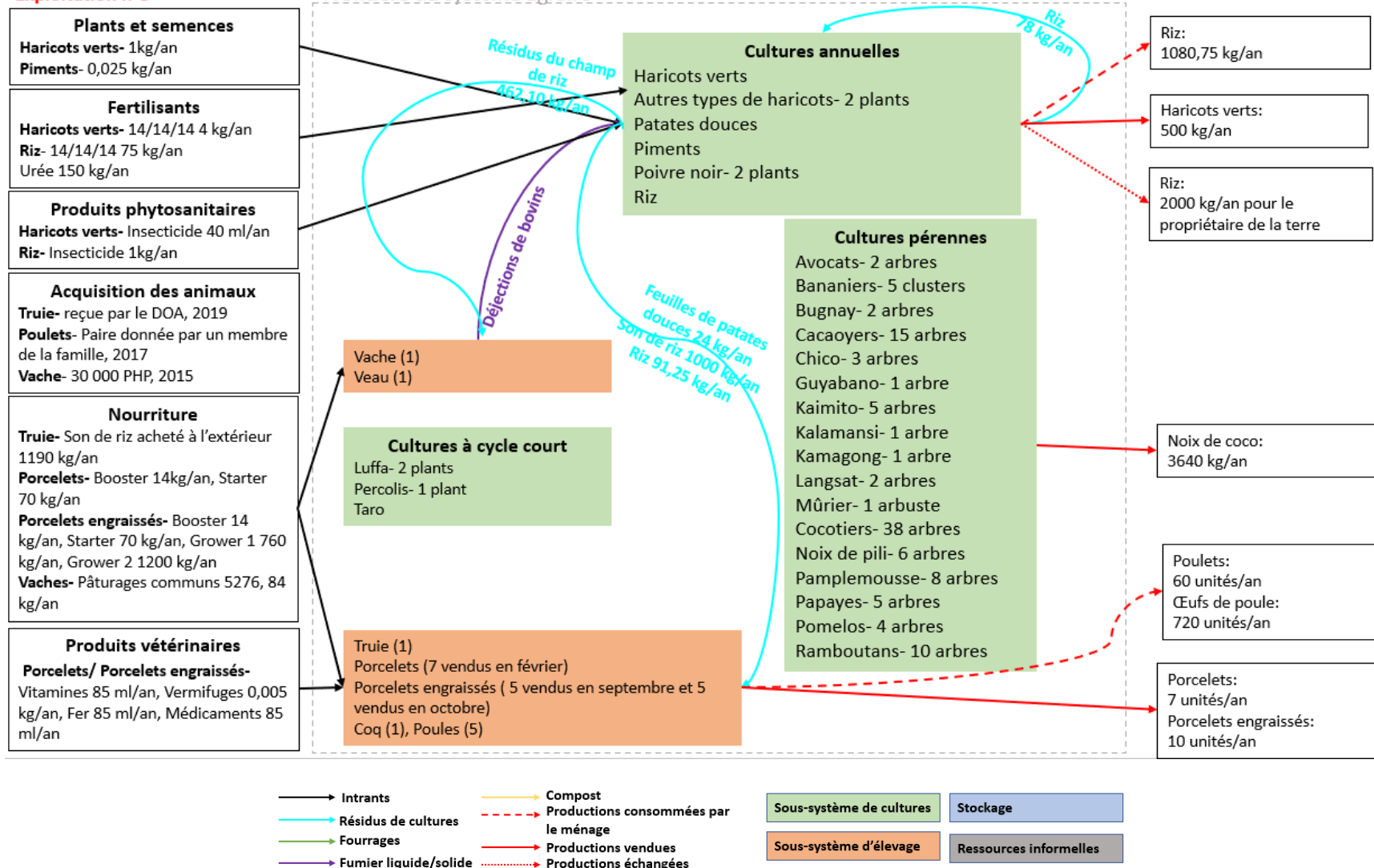
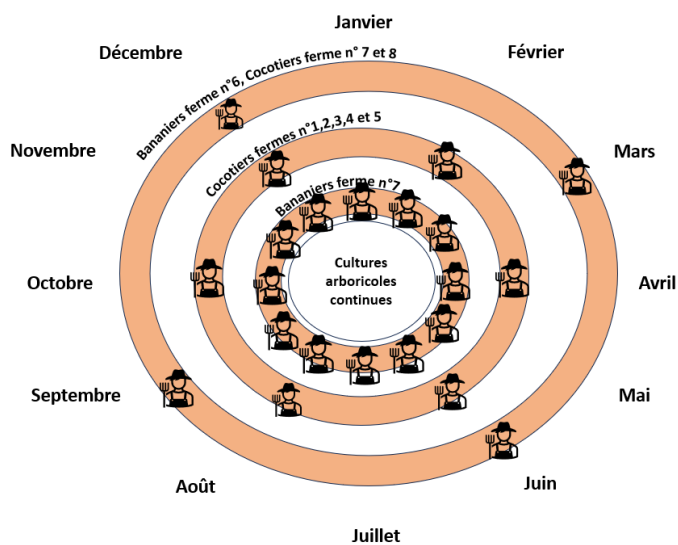
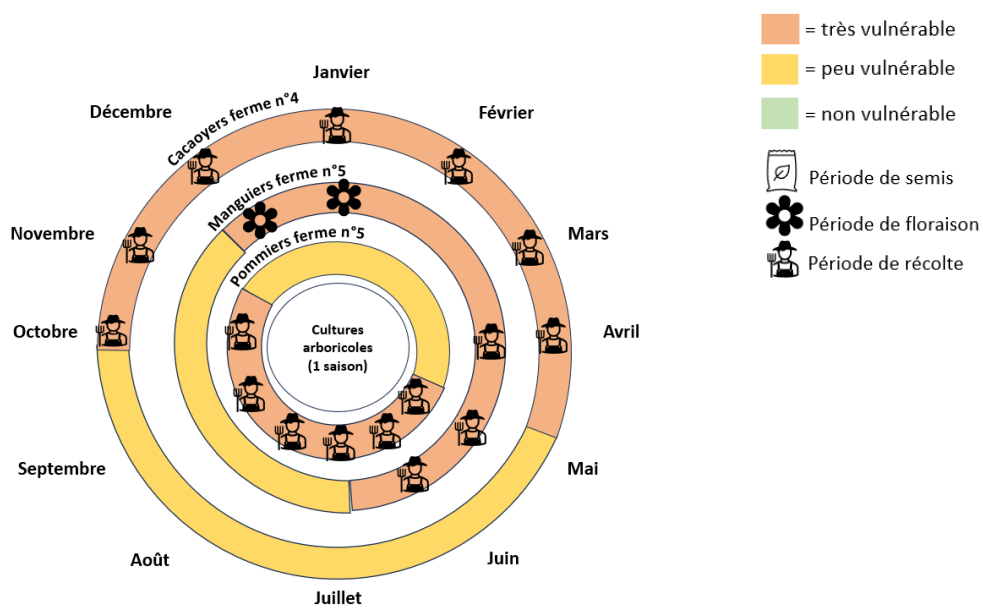


Figure 50 - Modèle conceptuel de l'exploitation n°8 réalisé sur PowerPoint

D. Calendriers de cultures



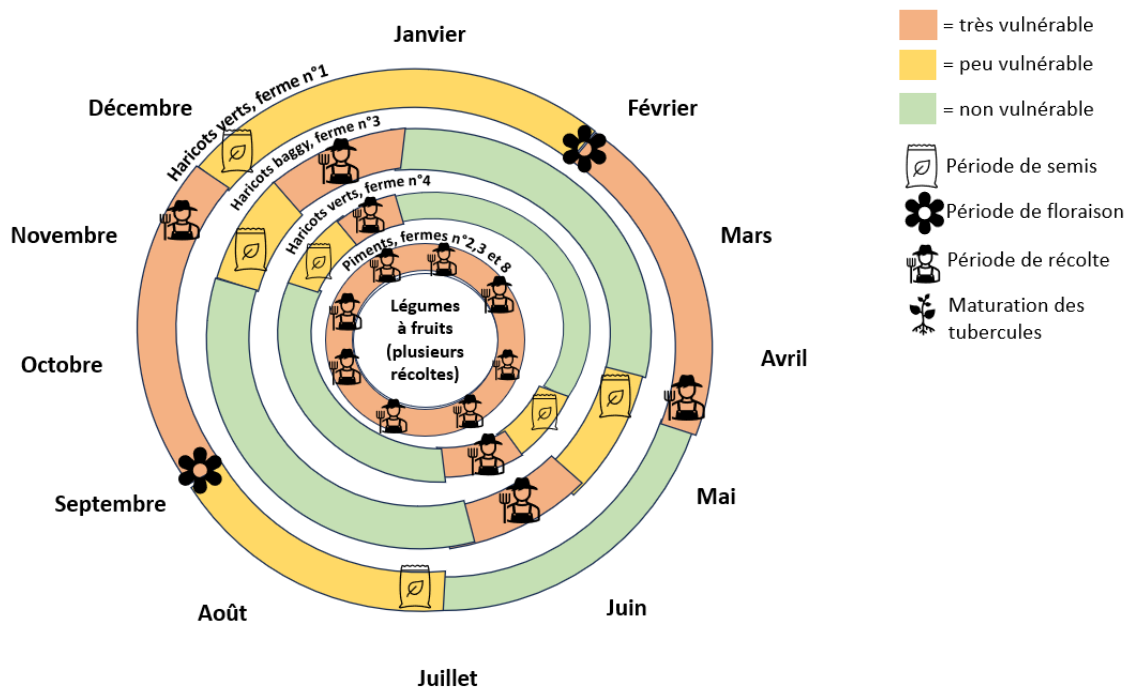


Figure 54 - Calendriers des légumes à fruits à plusieurs récoltes des huit exploitations

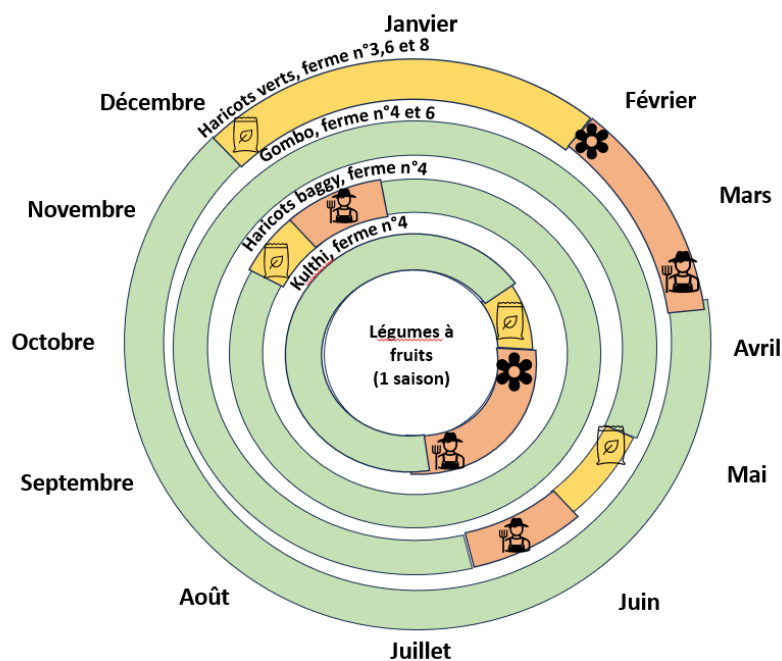


Figure 53 - Calendriers des légumes à fruits à une seule saison pour les huit exploitations

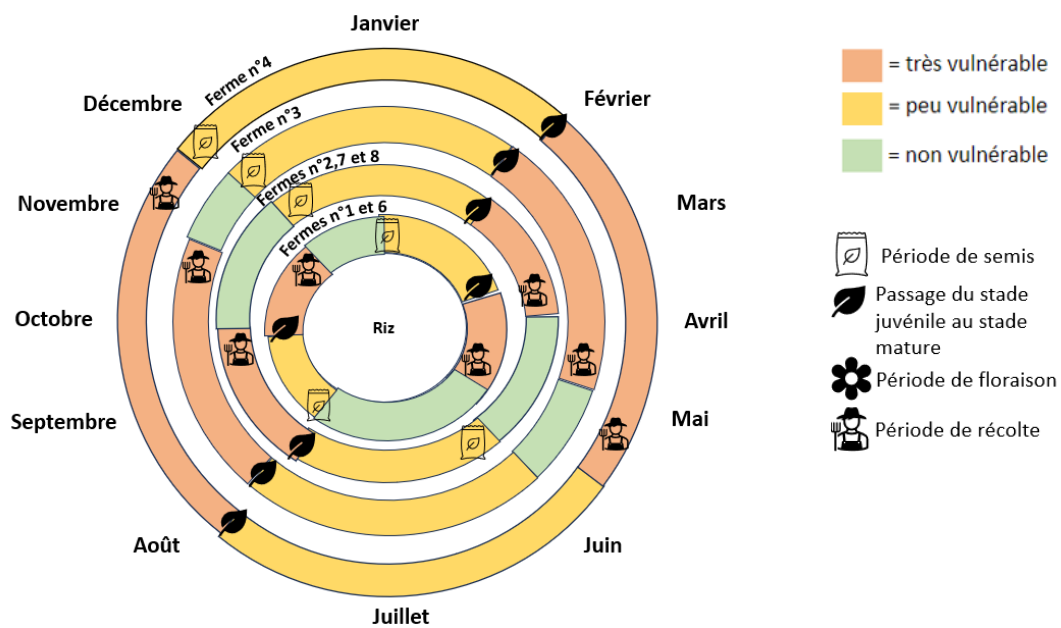


Figure 56 - Calendriers des cultures de riz pour les huit exploitations

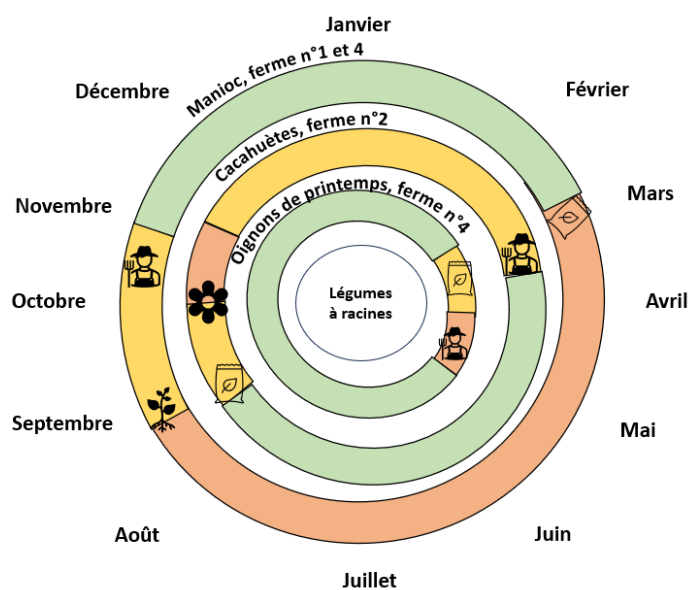


Figure 55 - Calendriers des légumes à racines des huit exploitations

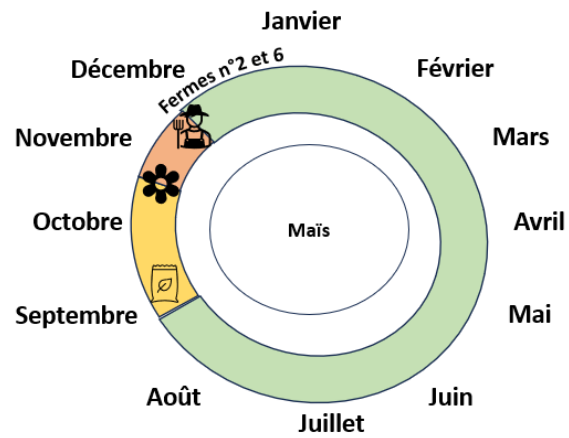


Figure 57 - Calendrier du maïs pour les exploitations n°2 et 6

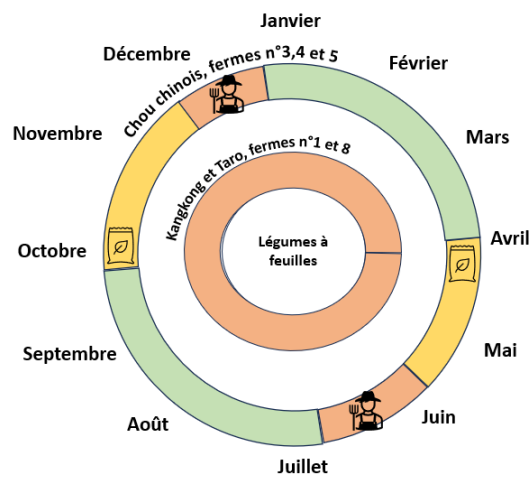


Figure 58 - Calendriers des légumes à feuilles pour les huit exploitations

E. Tableaux de pertes sur les productions des huit exploitations

Tableau 25 - Pertes de valeur fictive brute [PHP] sous 5mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°1

▲	type_prod	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1	Haricots_verts	10.125	13.5	13.5	13.5	0	0	10.125	10.125	13.5	13.5	13.5	10.125
2	Kangkong	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25
3	Manioc	0	0	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.3875	1.3875	0	0
4	Noix_de_coco	96.525	96.525	96.525	96.525	96.525	96.525	96.525	96.525	96.525	96.525	96.525	96.525
5	Riz_1	7172.55	7172.55	9315	9315	0	0	0	0	0	0	0	0
6	Riz_2	0	0	0	0	0	0	0	7172.55	7172.55	9315	9315	0
7	Taro	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
8	Tilapias	1868.064	1868.064	1868.064	1868.064	1868.064	1868.064	1868.064	1868.064	1868.064	1868.064	1868.064	1868.064
9	TOTAL	9150.864	9154.239	11298.539	11298.539	1970.039	1970.039	1980.164	9152.714	9155.6265	11298.0765	11296.689	1978.314

Tableau 26 - Pertes de valeur fictive brute [PHP] sous 50mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°1

▲	type_prod	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1	Haricots_verts	11.25	15	15	15	0	0	11.25	11.25	15	15	15	11.25
2	Kangkong	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
3	Manioc	0	0	59.2	59.2	59.2	59.2	59.2	59.2	44.4	44.4	0	0
4	Noix_de_coco	321.75	321.75	321.75	321.75	321.75	321.75	321.75	321.75	321.75	321.75	321.75	321.75
5	Riz_1	9734.175	9734.175	14748.75	14748.75	0	0	0	0	0	0	0	0
6	Riz_2	0	0	0	0	0	0	0	9734.175	9734.175	14748.75	14748.75	0
7	Taro	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
8	Tilapias	1868.064	1868.064	1868.064	1868.064	1868.064	1868.064	1868.064	1868.064	1868.064	1868.064	1868.064	1868.064
9	TOTAL	11939.239	11942.989	17016.764	17016.764	2253.014	2253.014	2264.264	11998.439	11987.389	17001.964	16957.564	2205.064

Tableau 27 - Pertes de revenus bruts [PHP] sous 5mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°1

▲	type_prod	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1	Haricots_verts	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	Kangkong	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	Manioc	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Noix_de_coco	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	Riz_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	Riz_2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	Taro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	Tilapias	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	TOTAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tableau 28 - Pertes de revenus bruts [PHP] sous 50mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°1

▲	type_prod	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1	Haricots_verts	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	Kangkong	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	Manioc	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Noix_de_coco	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	Riz_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	Riz_2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	Taro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	Tilapias	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	TOTAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tableau 29 - Pertes des différentes productions [kg] sous 5mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°1

type_prod	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1 Haricots_verts	0.3375	0.45	0.45	0.45	0.00	0.00	0.3375	0.3375	0.450	0.450	0.45	0.3375
2 Kangkong	0.4500	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.4500	0.4500	0.450	0.450	0.45	0.4500
3 Manioc	0.0000	0.00	0.10	0.10	0.10	0.10	0.1000	0.1000	0.075	0.075	0.00	0.0000
4 Noix_de_coco	11.7000	11.70	11.70	11.70	11.70	11.70	11.7000	11.7000	11.700	11.700	11.70	11.7000
5 Riz_1	519.7500	519.75	675.00	675.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0.000	0.000	0.00	0.0000
6 Riz_2	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0000	519.7500	519.750	675.000	675.00	0.0000
7 Taro	0.9000	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.9000	0.9000	0.900	0.900	0.90	0.9000
8 Tilapias	13.2000	13.20	13.20	13.20	13.20	13.20	13.2000	13.2000	13.200	13.200	13.20	13.2000

Tableau 30 - Pertes des différentes productions [kg] sous 50mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°1

type_prod	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1 Haricots_verts	0.375	0.500	0.50	0.50	0.0	0.0	0.375	0.375	0.500	0.50	0.50	0.375
2 Kangkong	0.500	0.500	0.50	0.50	0.5	0.5	0.500	0.500	0.500	0.50	0.50	0.500
3 Manioc	0.000	0.000	3.20	3.20	3.2	3.2	3.200	3.200	2.400	2.40	0.00	0.000
4 Noix_de_coco	39.000	39.000	39.00	39.00	39.0	39.0	39.000	39.000	39.000	39.00	39.00	39.000
5 Riz_1	705.375	705.375	1068.75	1068.75	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000
6 Riz_2	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.0	0.000	705.375	705.375	1068.75	1068.75	0.000
7 Taro	1.000	1.000	1.00	1.00	1.0	1.0	1.000	1.000	1.000	1.00	1.00	1.000
8 Tilapias	13.200	13.200	13.20	13.20	13.2	13.2	13.200	13.200	13.200	13.20	13.20	13.200

Tableau 31 - Pertes de valeur fictive brute [PHP] sous 5mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°2

type_prod	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1 Cacahuètes	13.7671875	13.7671875	13.7671875	0	0	0	0	0	13.7671875	18.35625	13.7671875	13.7671875
2 Mais	0	0	0	0	0	0	0	0	8393.7075	8393.7075	9874.95	0
3 Noix_de_coco	9555	9555	9555	9555	9555	9555	9555	9555	9555	9555	9555	9555
4 Piments	337.5	337.5	337.5	337.5	337.5	337.5	337.5	337.5	337.5	337.5	337.5	337.5
5 Riz_1	12993.75	16875	16875	0	0	12993.75	12993.75	16875	16875	0	0	12993.75
6 Riz_2	36382.5	47250	47250	0	0	36382.5	36382.5	47250	47250	0	0	36382.5
7 Cannelons	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
8 Œufs_canne	2.085	2.085	2.085	2.085	2.085	2.085	2.085	2.085	2.085	2.085	2.085	2.085
9 Œufs_poule	3.256	3.256	3.256	3.256	3.256	3.256	3.256	3.256	3.256	3.256	3.256	3.256
10 Poussins	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
11 TOTAL	59452.8581875	74201.6081875	74201.6081875	10062.841	10062.841	59439.091	59439.091	74187.841	82595.3156875	18474.90475	19951.5581875	59452.8581875

Tableau 32 - Pertes de valeur fictive brute [PHP] sous 50mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°2

type_prod	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1 Cacahuètes	440.55	440.55	440.55	0	0	0	0	0	440.55	587.4	440.55	440.55
2 Mais	0	0	0	0	0	0	0	0	13290.036875	13290.036875	15635.3375	0
3 Noix_de_coco	31850	31850	31850	31850	31850	31850	31850	31850	31850	31850	31850	31850
4 Piments	375	375	375	375	375	375	375	375	375	375	375	375
5 Riz_1	17634.375	26718.75	26718.75	0	0	17634.375	17634.375	26718.75	26718.75	0	0	17634.375
6 Riz_2	49376.25	74812.5	74812.5	0	0	49376.25	49376.25	74812.5	74812.5	0	0	49376.25
7 Cannelons	472.5	472.5	472.5	472.5	472.5	472.5	472.5	472.5	472.5	472.5	472.5	472.5
8 Œufs_canne	13.1355	13.1355	13.1355	13.1355	13.1355	13.1355	13.1355	13.1355	13.1355	13.1355	13.1355	13.1355
9 Œufs_poule	20.5128	20.5128	20.5128	20.5128	20.5128	20.5128	20.5128	20.5128	20.5128	20.5128	20.5128	20.5128
10 Poussins	567	567	567	567	567	567	567	567	567	567	567	567
11 TOTAL	100749.3233	135269.9483	135269.9483	33298.1483	33298.1483	100308.7733	100308.7733	134829.3983	148559.985175	47175.585175	49374.0358	100749.3233

Tableau 33 - Pertes de revenus bruts [PHP] sous 5 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°2

type_prod	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1 Cacahuètes	13.7671875	13.7671875	13.7671875	0	0	0	0	0	13.7671875	18.35625	13.7671875	13.7671875
2 Mais	0	0	0	0	0	0	0	0	8393.7075	8393.7075	9874.95	0
3 Noix_de_coco	4200	4200	4200	4200	4200	4200	4200	4200	4200	4200	4200	4200
4 Piments	337.5	337.5	337.5	337.5	337.5	337.5	337.5	337.5	337.5	337.5	337.5	337.5
5 Riz_1	3465	4500	4500	0	0	3465	3465	4500	4500	0	0	3465
6 Riz_2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7 Cannelons	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8 Œufs_canne	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9 Œufs_poule	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10 Poussins	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11 TOTAL	8016.2671875	9051.2671875	9051.2671875	4537.5	4537.5	8002.5	8002.5	9037.5	17444.9746875	12949.56375	14426.2171875	8016.2671875

Tableau 34 - Pertes de revenus bruts [PHP] sous 50 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°2

type_prod	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1 Cacahuètes	440.55	440.55	440.55	0	0	0	0	0	440.55	587.4	440.55	440.55
2 Mais	0	0	0	0	0	0	0	0	13290.036875	13290.036875	15635.3375	0
3 Noix_de_coco	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000
4 Piments	375	375	375	375	375	375	375	375	375	375	375	375
5 Riz_1	4702.5	7125	7125	0	0	4702.5	4702.5	7125	7125	0	0	4702.5
6 Riz_2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7 Cannelons	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8 Œufs_canne	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9 Œufs_poule	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10 Poussins	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11 TOTAL	19518.05	21940.55	21940.55	14375	14375	19077.5	19077.5	21500	35230.586875	28252.436875	30450.8875	19518.05

Tableau 35 - Pertes des différentes productions [kg] sous 5mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°2

type_prod	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1 Cacahuètes	1.03125	1.03125	1.03125	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.03125	1.3750	1.03125	1.03125
2 Mais	0.00000	0.00000	0.00000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	335.74830	335.7483	394.99800	0.00000
3 Noix_de_coco	1365.00000	1365.00000	1365.00000	1365.000	1365.000	1365.000	1365.000	1365.000	1365.00000	1365.0000	1365.00000	1365.00000
4 Piments	6.75000	6.75000	6.75000	6.750	6.750	6.750	6.750	6.750	6.75000	6.7500	6.75000	6.75000
5 Riz_1	866.25000	1125.00000	1125.00000	0.000	0.000	866.250	866.250	1125.000	1125.00000	0.0000	0.00000	866.25000
6 Riz_2	2425.50000	3150.00000	3150.00000	0.000	0.000	2425.500	2425.500	3150.000	3150.00000	0.0000	0.00000	2425.50000
7 Cannelons	0.75000	0.75000	0.75000	0.750	0.750	0.750	0.750	0.750	0.75000	0.7500	0.75000	0.75000
8 Œufs_canne	0.03500	0.03500	0.03500	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.03500	0.0350	0.03500	0.03500
9 Œufs_poule	0.02800	0.02800	0.02800	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.02800	0.0280	0.02800	0.02800
10 Poussins	0.75000	0.75000	0.75000	0.750	0.750	0.750	0.750	0.750	0.75000	0.7500	0.75000	0.75000

Tableau 38 - Pertes des différentes productions [kg] sous 50 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°2

type_prod	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1 Cacahuètes	33.0000	33.0000	33.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	33.0000	44.0000	33.0000	33.0000
2 Maïs	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	531.6015	531.6015	625.4135	0.0000
3 Noix_de_coco	4550.0000	4550.0000	4550.0000	4550.0000	4550.0000	4550.0000	4550.0000	4550.0000	4550.0000	4550.0000	4550.0000	4550.0000
4 Piments	7.5000	7.5000	7.5000	7.5000	7.5000	7.5000	7.5000	7.5000	7.5000	7.5000	7.5000	7.5000
5 Riz_1	1175.6250	1781.2500	1781.2500	0.0000	0.0000	1175.6250	1175.6250	1781.2500	1781.2500	0.0000	0.0000	1175.6250
6 Riz_2	3291.7500	4987.5000	4987.5000	0.0000	0.0000	3291.7500	3291.7500	4987.5000	4987.5000	0.0000	0.0000	3291.7500
7 Cannelons	4.7250	4.7250	4.7250	4.7250	4.7250	4.7250	4.7250	4.7250	4.7250	4.7250	4.7250	4.7250
8 Œufs_canne	0.2205	0.2205	0.2205	0.2205	0.2205	0.2205	0.2205	0.2205	0.2205	0.2205	0.2205	0.2205
9 Œufs_poule	0.1764	0.1764	0.1764	0.1764	0.1764	0.1764	0.1764	0.1764	0.1764	0.1764	0.1764	0.1764
10 Poussins	4.7250	4.7250	4.7250	4.7250	4.7250	4.7250	4.7250	4.7250	4.7250	4.7250	4.7250	4.7250

Tableau 36 - Pertes de valeur fictive brute des productions [PHP] sous 5 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°3

type_prod	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1 Chou_chinois	0	0	0	5062.5	5062.5	6750	0	0	0	5062.5	5062.5	6750
2 Haricots_baggy	0	0	0	2430	3240	0	0	0	0	0	2430	3240
3 Haricots_verts	13500	18000	18000	0	0	0	0	0	0	0	0	13500
4 Noix_de_coco	5850	5850	5850	5850	5850	5850	5850	5850	5850	5850	5850	5850
5 Piments	25920000	25920000	25920000	25920000	25920000	25920000	25920000	25920000	25920000	25920000	25920000	25920000
6 Riz_1	9239.076	11998.8	11998.8	11998.8	0	9239.076	9239.076	11998.8	11998.8	11998.8	0	9239.076
7 Riz_2	15013.4985	19498.05	19498.05	19498.05	0	15013.4985	15013.4985	19498.05	19498.05	19498.05	0	15013.4985
8 Petit_carabao	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500
9 Porcelets	2600	2600	0	0	2600	2600	0	0	0	0	0	0
10 Porcelets_engraissés	9200	9200	9200	9200	9200	9200	9200	9200	0	0	0	0
11 Veaux	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500
12 TOTAL	25978402.5745	25990146.85	25987546.85	25977039.35	25948952.5	25971652.5745	25962302.5745	25969546.85	25960346.85	25965409.35	25936342.5	25976592.5745

Tableau 37 - Pertes de valeur fictive brute des productions [PHP] sous 50 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°3

type_prod	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1 Chou_chinois	0	0	0	5625	5625	7500	0	0	0	5625	5625	7500
2 Haricots_baggy	0	0	0	2700	3600	0	0	0	0	0	2700	3600
3 Haricots_verts	15000	20000	20000	0	0	0	0	0	0	0	0	15000
4 Noix_de_coco	19500	19500	19500	19500	19500	19500	19500	19500	19500	19500	19500	19500
5 Piments	28800000	28800000	28800000	28800000	28800000	28800000	28800000	28800000	28800000	28800000	28800000	28800000
6 Riz_1	12538.746	18998.1	18998.1	18998.1	0	12538.746	12538.746	18998.1	18998.1	18998.1	0	12538.746
7 Riz_2	20375.46225	30871.9125	30871.9125	30871.9125	0	20375.46225	20375.46225	30871.9125	30871.9125	30871.9125	0	20375.46225
8 Petit_carabao	8550	8550	8550	8550	8550	8550	8550	8550	8550	8550	8550	8550
9 Porcelets	14820	14820	0	0	14820	14820	0	0	0	0	0	0
10 Porcelets_engraissés	52440	52440	52440	52440	52440	52440	52440	52440	0	0	0	0
11 Veaux	8550	8550	8550	8550	8550	8550	8550	8550	8550	8550	8550	8550
12 TOTAL	28951774.20825	28973730.0125	28958910.0125	28947235.0125	28913085	28944274.20825	28921954.20825	28938910.0125	28886470.0125	28892095.0125	28844925	28895614.20825

Tableau 39 - Pertes de revenus bruts [PHP] sous 5 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°3

type_prod	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1 Chou_chinois	0	0	0	337.5	337.5	450	0	0	0	337.5	337.5	450
2 Haricots_baggy	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 Haricots_verts	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4 Noix_de_coco	5850	5850	5850	5850	5850	5850	5850	5850	5850	5850	5850	5850
5 Piments	5400	5400	5400	5400	5400	5400	5400	5400	5400	5400	5400	5400
6 Riz_1	5748.7584	7465.92	7465.92	7465.92	0	5748.7584	5748.7584	7465.92	7465.92	0	5748.7584	5748.7584
7 Riz_2	15013.4985	19498.05	19498.05	19498.05	0	15013.4985	15013.4985	19498.05	19498.05	19498.05	0	15013.4985
8 Petit_carabao	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500
9 Porcelets	5200	5200	0	0	5200	5200	0	0	0	0	0	0
10 Porcelets_engraissés	17825	17825	17825	17825	17825	17825	17825	17825	0	0	0	0
11 Veaux	2250	2250	2250	2250	2250	2250	2250	2250	2250	2250	2250	2250
12 TOTAL	58787.2569	64988.97	59788.97	60126.47	38362.5	59237.2569	53587.2569	59788.97	41963.97	42301.47	15337.5	36212.2569

Tableau 40 - Pertes de revenus bruts [PHP] sous 50 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°3

type_prod	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1 Chou_chinois	0	0	0	375	375	500	0	0	0	375	375	500
2 Haricots_baggy	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 Haricots_verts	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4 Noix_de_coco	19500	19500	19500	19500	19500	19500	19500	19500	19500	19500	19500	19500
5 Piments	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000
6 Riz_1	7801.8864	11821.04	11821.04	11821.04	0	7801.8864	7801.8864	11821.04	11821.04	11821.04	0	7801.8864
7 Riz_2	20375.46225	30871.9125	30871.9125	30871.9125	0	20375.46225	20375.46225	30871.9125	30871.9125	30871.9125	0	20375.46225
8 Petit_carabao	8550	8550	8550	8550	8550	8550	8550	8550	8550	8550	8550	8550
9 Porcelets	29640	29640	0	0	29640	29640	0	0	0	0	0	0
10 Porcelets_engraissés	101602.5	101602.5	101602.5	101602.5	101602.5	101602.5	101602.5	101602.5	0	0	0	0
11 Veaux	12825	12825	12825	12825	12825	12825	12825	12825	12825	12825	12825	12825
12 TOTAL	206294.84865	220810.4525	191170.4525	191545.4525	178492.5	206794.84865	176654.84865	191170.4525	89567.9525	89942.9525	47250	75552.34865

Tableau 41 - Pertes des différentes productions [kg] sous 5 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°3

type_prod	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1 Chou_chinois	0.000	0.000	0	101.25	101.250	135.000	0.00	0	0	101.25	101.25	135.00
2 Haricots_baggy	0.000	0.000	0	121.50	162.000	0.000	0.00	0	0	0.00	121.50	162.00
3 Haricots_verts	337.500	450.000	450	0.00	0.000	0.000	0.00	0	0	0.00	0.00	337.50
4 Noix_de_coco	585.000	585.000	585	585.00	585.000	585.000	585.00	585	585	585.00	585.00	585.00
5 Piments	43200.000	43200.000	43200	43200.00	43200.000	43200.000	43200.00	43200	43200	43200.00	43200.00	43200.00
6 Riz_1	831.600	1080.000	1080	1080.00	0.000	831.600	831.60	1080	1080	1080.00	0.00	831.60
7 Riz_2	1351.350	1755.000	1755	1755.00	0.000	1351.350	1351.35	1755	1755	1755.00	0.00	1351.35
8 Petit_carabao	40.000	40.000	40	40.00	40.000	40.000	40.00	40	40	40.00	40.00	40.00
9 Porcelets	4.552	4.552	0	0.00	4.552	4.552	0.00	0	0	0.00	0.00	0.00
10 Porcelets_engraissés	44.000	44.000	44	44.00	44.000	44.000	44.00	44	0	0.00	0.00	0.00
11 Veaux	49.000	49.000	49	49.00	49.000	49.000	49.00	49	49	49.00	49.00	49.00

Tableau 42 - Pertes des différentes productions [kg] sous 50 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°3

type_prod	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1 Chou_chinois	0.0000	0.0000	0.00	112.50	112.5000	150.0000	0.000	0.00	0.00	112.50	112.5	150.000
2 Haricots_baggy	0.0000	0.0000	0.00	135.00	180.0000	0.0000	0.000	0.00	0.00	0.00	135.0	180.000
3 Haricots_verts	375.0000	500.0000	500.00	0.00	0.0000	0.0000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.0	375.000
4 Noix_de_coco	1950.0000	1950.0000	1950.00	1950.00	1950.0000	1950.0000	1950.000	1950.00	1950.00	1950.00	1950.0	1950.000
5 Piments	48000.0000	48000.0000	48000.00	48000.00	48000.0000	48000.0000	48000.000	48000.00	48000.00	48000.00	48000.0	48000.000
6 Riz_1	1128.6000	1710.0000	1710.00	1710.00	0.0000	1128.6000	1128.600	1710.00	1710.00	1710.00	0.0	1128.600
7 Riz_2	1833.9750	2778.7500	2778.75	2778.75	0.0000	1833.9750	1833.975	2778.75	2778.75	2778.75	0.0	1833.975
8 Petit_carabao	228.0000	228.0000	228.00	228.00	228.0000	228.0000	228.000	228.00	228.00	228.00	228.0	228.000
9 Porcelets	25.9464	25.9464	0.00	0.00	25.9464	25.9464	0.000	0.00	0.00	0.00	0.0	0.000
10 Porcelets_engraissés	250.8000	250.8000	250.80	250.80	250.8000	250.8000	250.800	250.80	0.00	0.00	0.0	0.000
11 Veaux	279.3000	279.3000	279.30	279.30	279.3000	279.3000	279.300	279.30	279.30	279.30	279.3	279.300

Tableau 43 - Pertes de valeur fictive brute [PHP] sous 5 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°4

type_prod	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1 Cacaoyers	7836.84	7836.84	7836.84	7836.84	7836.84	7836.84	7836.84	7836.84	5877.63	7836.84	7836.84	7836.84
2 Chou_chinois	0	0	0	1350	1350	1800	0	0	0	1350	1350	1800
3 Gombo	0	0	0	0	1856.25	2475	0	0	0	0	0	0
4 Haricots_baggy	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3712.5	4950
5 Haricots_verts	0	0	0	0	1417.5	1890	0	0	0	0	1417.5	1890
6 Kulthi	0	0	135	180	180	180	0	0	0	0	0	0
7 Manioc	0	0	9.25	9.25	9.25	9.25	9.25	9.25	6.9375	6.9375	0	0
8 Noix_de_coco	750.75	750.75	750.75	750.75	750.75	750.75	750.75	750.75	750.75	750.75	750.75	750.75
9 Oignons_printemps	0	0	106.92	445.5	0	0	0	0	0	0	0	0
10 Riz_1	23839.2	30960	30960	30960	30960	23839.2	23839.2	30960	30960	30960	30960	23839.2
11 Porcelets_engraissés	9765	9765	9765	9765	9765	9765	9765	9765	9765	9765	9765	9765
12 Poussins	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
13 Veaux	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
14 TOTAL	42941.79	50062.59	50313.76	52047.34	54875.59	49296.04	42951.04	50071.84	48110.3175	51419.5275	56542.59	51581.79

Tableau 44 - Pertes de valeur fictive brute [PHP] sous 50 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°4

▲ type_prod ↕	Janvier ↕	Février ↕	Mars ↕	Avril ↕	Mai ↕	Juin ↕	Juillet ↕	Août ↕	Septembre ↕	Octobre ↕	Novembre ↕	Décembre ↕
1 Cacaoyers	26122.8	26122.8	26122.8	26122.8	26122.8	26122.8	26122.8	26122.8	19592.1	26122.8	26122.8	26122.8
2 Chou_chinois	0	0	0	1500	1500	2000	0	0	0	1500	1500	2000
3 Gombo	0	0	0	0	2062.5	2750	0	0	0	0	0	0
4 Haricots_baggy	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4125	5500
5 Haricots_verts	0	0	0	0	1575	2100	0	0	0	0	1575	2100
6 Kulthi	0	0	150	200	200	200	0	0	0	0	0	0
7 Manioc	0	0	296	296	296	296	296	296	222	222	0	0
8 Noix_de_coco	2502.5	2502.5	2502.5	2502.5	2502.5	2502.5	2502.5	2502.5	2502.5	2502.5	2502.5	2502.5
9 Oignons_printemps	0	0	324	432	0	0	0	0	0	0	0	0
10 Riz_1	32353.2	49020	49020	49020	49020	32353.2	32353.2	49020	49020	49020	49020	32353.2
11 Porcelets_engraissés	55660.5	55660.5	55660.5	55660.5	55660.5	55660.5	55660.5	55660.5	55660.5	55660.5	55660.5	55660.5
12 Poussins	945	945	945	945	945	945	945	945	945	945	945	945
13 Veaux	3420	3420	3420	3420	3420	3420	3420	3420	3420	3420	3420	3420
14 TOTAL	121004	137670.8	138440.8	140098.8	143304.3	128350	121300	137966.8	131362.1	139392.8	144870.8	130604

Tableau 45 - Pertes de revenus bruts [PHP] sous 5 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°4

▲ type_prod ↕	Janvier ↕	Février ↕	Mars ↕	Avril ↕	Mai ↕	Juin ↕	Juillet ↕	Août ↕	Septembre ↕	Octobre ↕	Novembre ↕	Décembre ↕
1 Cacaoyers	7836.84	7836.84	7836.84	7836.84	7836.84	7836.84	7836.84	7836.84	5877.63	7836.84	7836.84	7836.84
2 Chou_chinois	0	0	0	1350	1350	1800	0	0	0	1350	1350	1800
3 Gombo	0	0	0	0	1856.25	2475	0	0	0	0	0	0
4 Haricots_baggy	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3712.5	4950
5 Haricots_verts	0	0	0	0	1417.5	1890	0	0	0	0	1417.5	1890
6 Kulthi	0	0	135	180	180	180	0	0	0	0	0	0
7 Manioc	0	0	9.25	9.25	9.25	9.25	9.25	9.25	6.9375	6.9375	0	0
8 Noix_de_coco	750.75	750.75	750.75	750.75	750.75	750.75	750.75	750.75	750.75	750.75	750.75	750.75
9 Oignons_printemps	0	0	106.92	445.5	0	0	0	0	0	0	0	0
10 Riz_1	14663.88	19044	19044	19044	19044	14663.88	14663.88	19044	19044	19044	19044	14663.88
11 Porcelets_engraissés	9765	9765	9765	9765	9765	9765	9765	9765	9765	9765	9765	9765
12 Poussins	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225
13 Veaux	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
14 TOTAL	36241.47	40621.59	40872.76	42606.34	45434.59	42595.72	36250.72	40630.84	38669.3175	41978.5275	47101.59	44881.47

Tableau 46 - Pertes de revenus bruts [PHP] sous 50 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°4

▲ type_prod ↕	Janvier ↕	Février ↕	Mars ↕	Avril ↕	Mai ↕	Juin ↕	Juillet ↕	Août ↕	Septembre ↕	Octobre ↕	Novembre ↕	Décembre ↕
1 Cacaoyers	26122.8	26122.8	26122.8	26122.8	26122.8	26122.8	26122.8	26122.8	19592.1	26122.8	26122.8	26122.8
2 Chou_chinois	0	0	0	1500	1500	2000	0	0	0	1500	1500	2000
3 Gombo	0	0	0	0	2062.5	2750	0	0	0	0	0	0
4 Haricots_baggy	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4125	5500
5 Haricots_verts	0	0	0	0	1575	2100	0	0	0	0	1575	2100
6 Kulthi	0	0	150	200	200	200	0	0	0	0	0	0
7 Manioc	0	0	296	296	296	296	296	296	222	222	0	0
8 Noix_de_coco	2502.5	2502.5	2502.5	2502.5	2502.5	2502.5	2502.5	2502.5	2502.5	2502.5	2502.5	2502.5
9 Oignons_printemps	0	0	324	432	0	0	0	0	0	0	0	0
10 Riz_1	19900.98	30153	30153	30153	30153	19900.98	19900.98	30153	30153	30153	30153	19900.98
11 Porcelets_engraissés	61519.5	61519.5	61519.5	61519.5	61519.5	61519.5	61519.5	61519.5	61519.5	61519.5	61519.5	61519.5
12 Poussins	1417.5	1417.5	1417.5	1417.5	1417.5	1417.5	1417.5	1417.5	1417.5	1417.5	1417.5	1417.5
13 Veaux	18900	18900	18900	18900	18900	18900	18900	18900	18900	18900	18900	18900
14 TOTAL	130363.28	140615.3	141385.3	143043.3	146248.8	137709.28	130659.28	140911.3	134306.6	142337.3	147815.3	139963.28

Tableau 47 - Pertes des différentes productions [kg] sous 5 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°4

type_prod	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1 Cacaoyers	18.00	18.00	18.000	18.000	18.00	18.00	18.00	18.00	13.500	18.000	18.00	18.00
2 Chou_chinois	0.00	0.00	0.000	67.500	67.50	90.00	0.00	0.00	0.000	67.500	67.50	90.00
3 Gombo	0.00	0.00	0.000	0.000	33.75	45.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00
4 Haricots_baggy	0.00	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	67.50	90.00
5 Haricots_verts	0.00	0.00	0.000	0.000	47.25	63.00	0.00	0.00	0.000	0.000	47.25	63.00
6 Kulthi	0.00	0.00	6.750	9.000	9.00	9.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00
7 Manioc	0.00	0.00	0.500	0.500	0.50	0.50	0.50	0.50	0.375	0.375	0.00	0.00
8 Noix_de_coco	68.25	68.25	68.250	68.250	68.25	68.25	68.25	68.25	68.250	68.250	68.25	68.25
9 Oignons_printemps	0.00	0.00	1.782	7.425	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00
10 Riz_1	1986.60	2580.00	2580.000	2580.000	2580.00	1986.60	1986.60	2580.00	2580.000	2580.000	2580.00	1986.60
11 Porcelets_engraissés	69.75	69.75	69.750	69.750	69.75	69.75	69.75	69.75	69.750	69.750	69.75	69.75
12 Poussins	1.00	1.00	1.000	1.000	1.00	1.00	1.00	1.00	1.000	1.000	1.00	1.00
13 Veaux	49.00	49.00	49.000	49.000	49.00	49.00	49.00	49.00	49.000	49.000	49.00	49.00

Tableau 48 - Pertes des différentes productions [kg] sous 50 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°4

type_prod	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1 Cacaoyers	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000	45.000	60.000	60.000	60.000
2 Chou_chinois	0.000	0.000	0.000	75.000	75.000	100.000	0.000	0.000	0.000	75.000	75.000	100.000
3 Gombo	0.000	0.000	0.000	0.000	37.500	50.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4 Haricots_baggy	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	75.000	100.000
5 Haricots_verts	0.000	0.000	0.000	0.000	52.500	70.000	0.000	0.000	0.000	0.000	52.500	70.000
6 Kulthi	0.000	0.000	7.500	10.000	10.000	10.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7 Manioc	0.000	0.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	12.000	12.000	0.000	0.000
8 Noix_de_coco	227.500	227.500	227.500	227.500	227.500	227.500	227.500	227.500	227.500	227.500	227.500	227.500
9 Oignons_printemps	0.000	0.000	5.400	7.200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10 Riz_1	2696.100	4085.000	4085.000	4085.000	4085.000	2696.100	2696.100	4085.000	4085.000	4085.000	4085.000	2696.100
11 Porcelets_engraissés	439.425	439.425	439.425	439.425	439.425	439.425	439.425	439.425	439.425	439.425	439.425	439.425
12 Poussins	6.300	6.300	6.300	6.300	6.300	6.300	6.300	6.300	6.300	6.300	6.300	6.300
13 Veaux	308.700	308.700	308.700	308.700	308.700	308.700	308.700	308.700	308.700	308.700	308.700	308.700

Tableau 49 - Pertes de valeur fictive brute [PHP] sous 5 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°5

type_prod	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1 Chou_chinois	0	0	0	699.2325	699.2325	932.31	0	0	0	699.2325	699.2325	932.31
2 Mangues	3192.3	3192.3	3192.3	3192.3	3192.3	3192.3	2394.225	2394.225	2394.225	2394.225	2394.225	3192.3
3 Noix_de_coco	717.75	717.75	717.75	717.75	717.75	717.75	717.75	717.75	717.75	717.75	717.75	717.75
4 Pommier_étoilé	0	0	0	0	38.505	38.505	38.505	38.505	38.505	38.505	0	0
5 Colonnies_abeille	18600	18600	18600	18600	18600	18600	18600	18600	18600	18600	18600	18600
6 Lapereaux	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
7 Miel	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
8 Œufs_poule	12.21	12.21	12.21	12.21	12.21	12.21	12.21	12.21	12.21	12.21	12.21	12.21
9 Porcelets_engraissés	0	2000	2000	2000	2000	2000	0	0	0	0	0	0
10 Poussins	67.5	67.5	67.5	67.5	67.5	67.5	67.5	67.5	67.5	67.5	67.5	67.5
11 TOTAL	22789.76	24789.76	24789.76	25488.9925	25527.4975	25760.575	22030.19	22030.19	22030.19	22729.4225	22690.9175	23722.07

Tableau 50 - Pertes de valeur fictive brute [PHP] sous 50 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°5

type_prod	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	juin	juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Déc
1 Chou_chinois	0	0	0	776.925	776.925	1035.9	0	0	0	776.925	776.925	1035.9
2 Mangues	10641	10641	10641	10641	10641	10641	7980.75	7980.75	7980.75	7980.75	7980.75	10641
3 Noix_de_coco	2392.5	2392.5	2392.5	2392.5	2392.5	2392.5	2392.5	2392.5	2392.5	2392.5	2392.5	2392.5
4 Pommier_étoilé	0	0	0	0	128.35	128.35	128.35	128.35	128.35	128.35	0	0
5 Colonnies_abeille	31000	31000	31000	31000	31000	31000	31000	31000	31000	31000	31000	31000
6 Lapereaux	945	945	945	945	945	945	945	945	945	945	945	945
7 Miel	83.33333333333333	83.33333333333333	83.33333333333333	83.33333333333333	83.33333333333333	83.33333333333333	83.33333333333333	83.33333333333333	83.33333333333333	83.33333333333333	83.33333333333333	83.33333333333333
8 Œufs_poule	76.923	76.923	76.923	76.923	76.923	76.923	76.923	76.923	76.923	76.923	76.923	76.923
9 Porcelets_engraissés	0	11400	11400	11400	11400	11400	0	0	0	0	0	0
10 Poussins	425.25	425.25	425.25	425.25	425.25	425.25	425.25	425.25	425.25	425.25	425.25	425.25
11 TOTAL	45564.00633333333	56964.00633333333	56964.00633333333	57740.93133333333	57869.28133333333	58128.25633333333	43032.10633333333	43032.10633333333	43032.10633333333	43809.03133333333	43680.68133333333	46596

Tableau 51 - Pertes de revenus bruts [PHP] sous 5 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°5

type_prod	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Chou_chinois	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mangues	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Noix_de_coco	630.086319358816	630.086319358816	630.086319358816	630.086319358816	630.086319358816	630.086319358816	630.086319358816	630.086319358816	630.086319358816	630.086319358816	630.086319358816	630.086319358816
Pommier_étoilé	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Colonnies_abeille	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000
Lapereaux	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450
Miel	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
Œufs_poule	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Porcelets_engraissés	0	2000	2000	2000	2000	2000	0	0	0	0	0	0
Poussins	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5
TOTAL	41093.5863193588	43093.5863193588	43093.5863193588	43093.5863193588	43093.5863193588	43093.5863193588	41093.5863193588	41093.5863193588	41093.5863193588	41093.5863193588	41093.5863193588	41093.5863193588

Tableau 52 - Pertes de revenus bruts [PHP] sous 50 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°5

type_prod	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décem
Chou_chinois	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mangues	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Noix_de_coco	2100.28773119605	2100.28773119605	2100.28773119605	2100.28773119605	2100.28773119605	2100.28773119605	2100.28773119605	2100.28773119605	2100.28773119605	2100.28773119605	2100.28773119605	2100.28773119605
Pommier_étoilé	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Colonnies_abeille	31500	31500	31500	31500	31500	31500	31500	31500	31500	31500	31500	31500
Lapereaux	2835	2835	2835	2835	2835	2835	2835	2835	2835	2835	2835	2835
Miel	10500	10500	10500	10500	10500	10500	10500	10500	10500	10500	10500	10500
Œufs_poule	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Porcelets_engraissés	0	12600	12600	12600	12600	12600	0	0	0	0	0	0
Poussins	85.05	85.05	85.05	85.05	85.05	85.05	85.05	85.05	85.05	85.05	85.05	85.05
TOTAL	47020.3377311961	59620.3377311961	59620.3377311961	59620.3377311961	59620.3377311961	59620.3377311961	47020.3377311961	47020.3377311961	47020.3377311961	47020.3377311961	47020.3377311961	47020.3377311961

Tableau 53 - Pertes des différentes productions [kg] sous 5 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°5

	type_prod	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1	Chou_chinois	0.00000	0.00000	0.00000	10.12500	10.12500	13.50000	0.00000	0.00000	0.00000	10.12500	10.12500	13.50000
2	Mangues	15.00000	15.00000	15.00000	15.00000	15.00000	15.00000	11.25000	11.25000	11.25000	11.25000	11.25000	15.00000
3	Noix_de_coco	143.55000	143.55000	143.55000	143.55000	143.55000	143.55000	143.55000	143.55000	143.55000	143.55000	143.55000	143.55000
4	Pommier_étoilé	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	1.50000	1.50000	1.50000	1.50000	1.50000	0.00000	0.00000
5	Colonnies_abeille	65.10000	65.10000	65.10000	65.10000	65.10000	65.10000	65.10000	65.10000	65.10000	65.10000	65.10000	65.10000
6	Lapereaux	1.22500	1.22500	1.22500	1.22500	1.22500	1.22500	1.22500	1.22500	1.22500	1.22500	1.22500	1.22500
7	Miel	0.06973	0.06973	0.06973	0.06973	0.06973	0.06973	0.06973	0.06973	0.06973	0.06973	0.06973	0.06973
8	Œufs_poule	0.10500	0.10500	0.10500	0.10500	0.10500	0.10500	0.10500	0.10500	0.10500	0.10500	0.10500	0.10500
9	Porcelets_engraissés	0.00000	16.08000	16.08000	16.08000	16.08000	16.08000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
10	Poussins	0.62500	0.62500	0.62500	0.62500	0.62500	0.62500	0.62500	0.62500	0.62500	0.62500	0.62500	0.62500

Tableau 54 - Pertes des différentes productions [kg] sous 50 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°5

	type_prod	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1	Chou_chinois	0.0000000	0.0000000	0.0000000	11.2500000	11.2500000	15.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	11.2500000	11.2500000	15.0000000
2	Mangues	50.0000000	50.0000000	50.0000000	50.0000000	50.0000000	50.0000000	37.5000000	37.5000000	37.5000000	37.5000000	37.5000000	50.0000000
3	Noix_de_coco	478.5000000	478.5000000	478.5000000	478.5000000	478.5000000	478.5000000	478.5000000	478.5000000	478.5000000	478.5000000	478.5000000	478.5000000
4	Pommier_étoilé	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	5.0000000	5.0000000	5.0000000	5.0000000	5.0000000	5.0000000	0.0000000	0.0000000
5	Colonnies_abeille	68.3550000	68.3550000	68.3550000	68.3550000	68.3550000	68.3550000	68.3550000	68.3550000	68.3550000	68.3550000	68.3550000	68.3550000
6	Lapereaux	7.7175000	7.7175000	7.7175000	7.7175000	7.7175000	7.7175000	7.7175000	7.7175000	7.7175000	7.7175000	7.7175000	7.7175000
7	Miel	0.0732165	0.0732165	0.0732165	0.0732165	0.0732165	0.0732165	0.0732165	0.0732165	0.0732165	0.0732165	0.0732165	0.0732165
8	Œufs_poule	0.6615000	0.6615000	0.6615000	0.6615000	0.6615000	0.6615000	0.6615000	0.6615000	0.6615000	0.6615000	0.6615000	0.6615000
9	Porcelets_engraissés	0.0000000	101.3040000	101.3040000	101.3040000	101.3040000	101.3040000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
10	Poussins	3.9375000	3.9375000	3.9375000	3.9375000	3.9375000	3.9375000	3.9375000	3.9375000	3.9375000	3.9375000	3.9375000	3.9375000

Tableau 55 - Pertes de valeur fictive brute [PHP] sous 5 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°6

type_prod	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Bananiers	462.384	462.384	462.384	462.384	462.384	462.384	462.384	462.384	462.384	462.384	462.384	462.384
Gombo	0	0	0	0	108	144	0	0	0	0	0	0
Haricots_verts	1215	1620	1620	0	0	0	0	0	0	0	0	1215
Mais	0	0	0	0	0	0	0	0	1912.5	1912.5	2250	0
Riz_1	0	0	0	0	0	0	0	11157.3	11157.3	14490	14490	0
Riz_2	13388.76	13388.76	17388	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dindonneaux	690	690	690	690	690	690	690	690	690	690	690	690
Œufs_poule	2.849	2.849	2.849	2.849	2.849	2.849	2.849	2.849	2.849	2.849	2.849	2.849
Porcelets_engraissés	0	0	0	0	0	0	0	1105	1105	1105	1105	1105
Poussins	0.46153668639736	0.46153668639736	0.46153668639736	0.46153668639736	0.46153668639736	0.46153668639736	0.46153668639736	0.46153668639736	0.46153668639736	0.46153668639736	0.46153668639736	0.46153668639736
Veaux	2033.333	2033.333	2033.333	2033.333	2033.333	2033.333	2033.333	2033.333	2033.333	2033.333	2033.333	2033.333
TOTAL	17792.7875366864	18197.7875366864	22197.0275366864	3189.0275366864	3297.0275366864	3333.0275366864	3189.0275366864	15451.3275366864	17363.8275366864	20696.5275366864	21034.0275366864	5509.02753

Tableau 56 - Pertes de valeur fictive brute [PHP] sous 50 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°6

type_prod	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Bananiers	1541.28	1541.28	1541.28	1541.28	1541.28	1541.28	1541.28	1541.28	1541.28	1541.28	1541.28	1541.28
Gombo	0	0	0	0	120	160	0	0	0	0	0	0
Haricots_verts	1350	1800	1800	0	0	0	0	0	0	0	0	1350
Mais	0	0	0	0	0	0	0	0	3028.125	3028.125	3562.5	0
Riz_1	0	0	0	0	0	0	0	15142.05	15142.05	22942.5	22942.5	0
Riz_2	18170.46	18170.46	27531	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dindonneaux	4347	4347	4347	4347	4347	4347	4347	4347	4347	4347	4347	4347
Œufs_poule	17.9487	17.9487	17.9487	17.9487	17.9487	17.9487	17.9487	17.9487	17.9487	17.9487	17.9487	17.9487
Porcelets_engraissés	0	0	0	0	0	0	0	6298.5	6298.5	6298.5	6298.5	6298.5
Poussins	2.90768112430337	2.90768112430337	2.90768112430337	2.90768112430337	2.90768112430337	2.90768112430337	2.90768112430337	2.90768112430337	2.90768112430337	2.90768112430337	2.90768112430337	2.90768112
Veaux	11589.9981	11589.9981	11589.9981	11589.9981	11589.9981	11589.9981	11589.9981	11589.9981	11589.9981	11589.9981	11589.9981	11589.9981
TOTAL	37019.5944811243	37469.5944811243	46830.1344811243	17499.1344811243	17619.1344811243	17659.1344811243	17499.1344811243	38939.6844811243	41967.8094811243	49768.2594811243	50302.6344811243	25147.6344

Tableau 57 - Pertes de revenus bruts [PHP] sous 5 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°6

type_prod	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1 Bananiers	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 Gombo	0	0	0	0	13.5	18	0	0	0	0	0	0
3 Haricots_verts	891	1188	1188	0	0	0	0	0	0	0	0	891
4 Mais	0	0	0	0	0	0	0	0	1912.5	1912.5	2250	0
5 Riz_1	0	0	0	0	0	0	0	5738.04	5738.04	7452	7452	0
6 Riz_2	7969.5	7969.5	10350	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7 Dindonneaux	345	345	345	345	345	345	345	345	345	345	345	345
8 Œufs_poule	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9 Porcelets_engraissés	0	0	0	0	0	0	0	1105	1105	1105	1105	1105
10 Poussins	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11 Veaux	1016.6665	1016.6665	1016.6665	1016.6665	1016.6665	1016.6665	1016.6665	1016.6665	1016.6665	1016.6665	1016.6665	1016.6665
12 TOTAL	10222.1665	10519.1665	12899.6665	1361.6665	1375.1665	1379.6665	1361.6665	8204.7065	10117.2065	11831.1665	12168.6665	3357.6665

Tableau 58 - Pertes de revenus bruts [PHP] sous 50 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°6

type_prod	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1 Bananiers	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 Gombo	0	0	0	0	15	20	0	0	0	0	0	0
3 Haricots_verts	990	1320	1320	0	0	0	0	0	0	0	0	990
4 Mais	0	0	0	0	0	0	0	0	3028.125	3028.125	3562.5	0
5 Riz_1	0	0	0	0	0	0	0	7787.34	7787.34	11799	11799	0
6 Riz_2	10815.75	10815.75	16387.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7 Dindonneaux	1966.5	1966.5	1966.5	1966.5	1966.5	1966.5	1966.5	1966.5	1966.5	1966.5	1966.5	1966.5
8 Œufs_poule	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9 Porcelets_engraissés	0	0	0	0	0	0	0	6298.5	6298.5	6298.5	6298.5	6298.5
10 Poussins	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11 Veaux	5794.99905	5794.99905	5794.99905	5794.99905	5794.99905	5794.99905	5794.99905	5794.99905	5794.99905	5794.99905	5794.99905	5794.99905
12 TOTAL	19567.24905	19897.24905	25468.99905	7761.49905	7776.49905	7781.49905	7761.49905	21847.33905	24875.46405	28887.12405	29421.49905	15049.99905

Tableau 59 - Pertes des différentes productions [kg] sous 5 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°6

type_prod	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1 Bananiers	7.200000e+00	7.200000e+00	7.200000e+00	7.200000000	7.200000000	7.200000000	7.200000000	7.200000e+00	7.200000e+00	7.200000e+00	7.200000e+00	7.200000000
2 Gombo	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000000	5.400000000	7.200000000	0.000000000	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000000
3 Haricots_verts	2.025000e+01	2.700000e+01	2.700000e+01	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	20.250000000
4 Mais	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000e+00	7.650000e+01	7.650000e+01	9.000000e+01	0.000000000
5 Riz_1	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000	7.438200e+02	7.438200e+02	9.660000e+02	9.660000e+02	0.000000000
6 Riz_2	8.925840e+02	8.925840e+02	1.159200e+03	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000000
7 Dindonneaux	1.200000e+01	1.200000e+01	1.200000e+01	12.000000000	12.000000000	12.000000000	12.000000000	1.200000e+01	1.200000e+01	1.200000e+01	1.200000e+01	12.000000000
8 Œufs_poule	2.450000e-02	2.450000e-02	2.450000e-02	0.024500000	0.024500000	0.024500000	0.024500000	2.450000e-02	2.450000e-02	2.450000e-02	2.450000e-02	0.024500000
9 Porcelets_engraissés	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000	8.500000e+00	8.500000e+00	8.500000e+00	8.500000e+00	8.500000000
10 Poussins	4.807674e-03	4.807674e-03	4.807674e-03	0.004807674	0.004807674	0.004807674	0.004807674	4.807674e-03	4.807674e-03	4.807674e-03	4.807674e-03	0.004807674
11 Veaux	4.900000e+01	4.900000e+01	4.900000e+01	49.000000000	49.000000000	49.000000000	49.000000000	4.900000e+01	4.900000e+01	4.900000e+01	4.900000e+01	49.000000000

Tableau 60 - Pertes des différentes productions [kg] sous 50 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°6

type_prod	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1 Bananiers	2.400000e+01	2.400000e+01	2.400000e+01	24.00000000	24.00000000	24.00000000	24.00000000	2.400000e+01	2.400000e+01	2.400000e+01	2.400000e+01	24.00000000
2 Gombo	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.00000000	6.00000000	8.00000000	0.00000000	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.00000000
3 Haricots_verts	2.250000e+01	3.000000e+01	3.000000e+01	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	22.50000000
4 Mais	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.000000e+00	1.211250e+02	1.211250e+02	1.425000e+02	0.00000000
5 Riz_1	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	1.009470e+03	1.009470e+03	1.529500e+03	1.529500e+03	0.00000000
6 Riz_2	1.211364e+03	1.211364e+03	1.835400e+03	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.00000000
7 Dindonneaux	6.840000e+01	6.840000e+01	6.840000e+01	68.40000000	68.40000000	68.40000000	68.40000000	6.840000e+01	6.840000e+01	6.840000e+01	6.840000e+01	68.40000000
8 Œufs_poule	1.396500e-01	1.396500e-01	1.396500e-01	0.13965000	0.13965000	0.13965000	0.13965000	1.396500e-01	1.396500e-01	1.396500e-01	1.396500e-01	0.13965000
9 Porcelets_engraissés	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	4.845000e+01	4.845000e+01	4.845000e+01	4.845000e+01	48.45000000
10 Poussins	2.740374e-02	2.740374e-02	2.740374e-02	0.02740374	0.02740374	0.02740374	0.02740374	2.740374e-02	2.740374e-02	2.740374e-02	2.740374e-02	0.02740374
11 Veaux	2.793000e+02	2.793000e+02	2.793000e+02	279.30000000	279.30000000	279.30000000	279.30000000	2.793000e+02	2.793000e+02	2.793000e+02	2.793000e+02	279.30000000

Tableau 64 - Pertes de valeur fictive brute [PHP] sous 5 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°7

type_prod	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1 Bananiers	187.1557038	187.1557038	187.1557038	187.1557038	187.1557038	187.1557038	187.1557038	187.1557038	187.1557038	187.1557038	187.1557038	187.1557038
2 Noix_de_coco	1737.45	1737.45	1737.45	1737.45	1737.45	1737.45	1737.45	1737.45	1737.45	1737.45	1737.45	1737.45
3 Riz_1	6056.82	7866	7866	0	0	0	0	0	0	0	0	6056.82
4 Riz_2	0	0	0	0	0	2309.9307	2309.9307	2999.91	2999.91	0	0	0
5 Riz_3	0	0	0	0	0	6056.82	6056.82	7866	7866	0	0	0
6 Cannelons	12.4995	12.4995	12.4995	12.4995	12.4995	12.4995	12.4995	12.4995	12.4995	12.4995	12.4995	12.4995
7 Œufs_canne	1.3899861	1.3899861	1.3899861	1.3899861	1.3899861	1.3899861	1.3899861	1.3899861	1.3899861	1.3899861	1.3899861	1.3899861
8 Porcelets_engraissés	4944	4944	4944	4944	4944	0	4944	4944	4944	4944	0	0
9 Poussins	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
10 TOTAL	12957.3151899	14766.4951899	14766.4951899	6900.4951899	6900.4951899	10323.2458899	15267.2458899	17766.4051899	17766.4051899	6900.4951899	1956.4951899	8013.3151899

Tableau 63 - Pertes de valeur fictive brute [PHP] sous 50 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°7

type_prod	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1 Bananiers	623.852346	623.852346	623.852346	623.852346	623.852346	623.852346	623.852346	623.852346	623.852346	623.852346	623.852346	623.852346
2 Noix_de_coco	5791.5	5791.5	5791.5	5791.5	5791.5	5791.5	5791.5	5791.5	5791.5	5791.5	5791.5	5791.5
3 Riz_1	8219.97	12454.5	12454.5	0	0	0	0	0	0	0	0	8219.97
4 Riz_2	0	0	0	0	0	3134.90595	3134.90595	4749.8575	4749.8575	0	0	0
5 Riz_3	0	0	0	0	0	8219.97	8219.97	12454.5	12454.5	0	0	0
6 Cannelons	78.74685	78.74685	78.74685	78.74685	78.74685	78.74685	78.74685	78.74685	78.74685	78.74685	78.74685	78.74685
7 Œufs_canne	8.75691243	8.75691243	8.75691243	8.75691243	8.75691243	8.75691243	8.75691243	8.75691243	8.75691243	8.75691243	8.75691243	8.75691243
8 Porcelets_engraissés	28180.8	28180.8	28180.8	28180.8	28180.8	0	28180.8	28180.8	28180.8	28180.8	0	0
9 Poussins	113.4	113.4	113.4	113.4	113.4	113.4	113.4	113.4	113.4	113.4	113.4	113.4
10 TOTAL	43017.02610843	47251.55610843	47251.55610843	34797.05610843	34797.05610843	17971.13205843	46151.93205843	52001.41360843	52001.41360843	34797.05610843	6616.25610843	14836.22610843

Tableau 62 - Pertes de revenus bruts [PHP] sous 5 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°7

type_prod	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1 Bananiers	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 Noix_de_coco	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 Riz_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4 Riz_2	0	0	0	0	0	2309.9307	2309.9307	2999.91	2999.91	0	0	0
5 Riz_3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6 Cannelons	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7 Œufs_canne	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8 Porcelets_engraissés	4944	4944	4944	4944	4944	0	4944	4944	4944	4944	0	0
9 Poussins	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10 TOTAL	4944	4944	4944	4944	4944	2309.9307	7253.9307	7943.91	7943.91	4944	0	0

Tableau 61 - Pertes de revenus bruts [PHP] sous 50 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°7

type_prod	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1 Bananiers	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 Noix_de_coco	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 Riz_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4 Riz_2	0	0	0	0	0	3134.90595	3134.90595	4749.8575	4749.8575	0	0	0
5 Riz_3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6 Cannelons	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7 Œufs_canne	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8 Porcelets_engraissés	31147.2	31147.2	31147.2	31147.2	31147.2	0	31147.2	31147.2	31147.2	31147.2	0	0
9 Poussins	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10 TOTAL	31147.2	31147.2	31147.2	31147.2	31147.2	3134.90595	34282.10595	35897.0575	35897.0575	31147.2	0	0

Tableau 66 - Pertes des différentes productions [kg] sous 5 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°7

type_prod	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1 Bananiers	2.9142900	2.9142900	2.9142900	2.9142900	2.9142900	2.9142900	2.9142900	2.9142900	2.9142900	2.9142900	2.9142900	2.9142900
2 Noix_de_coco	210.6000000	210.6000000	210.6000000	210.6000000	210.6000000	210.6000000	210.6000000	210.6000000	210.6000000	210.6000000	210.6000000	210.6000000
3 Riz_1	438.9000000	570.0000000	570.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	438.9000000
4 Riz_2	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	43.8900000	43.8900000	57.0000000	57.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
5 Riz_3	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	438.9000000	438.9000000	570.0000000	570.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
6 Cannelons	0.1249950	0.1249950	0.1249950	0.1249950	0.1249950	0.1249950	0.1249950	0.1249950	0.1249950	0.1249950	0.1249950	0.1249950
7 Œufs_canne	0.0233331	0.0233331	0.0233331	0.0233331	0.0233331	0.0233331	0.0233331	0.0233331	0.0233331	0.0233331	0.0233331	0.0233331
8 Porcelets_engraissés	19.8000000	19.8000000	19.8000000	19.8000000	19.8000000	0.0000000	19.8000000	19.8000000	19.8000000	19.8000000	0.0000000	0.0000000
9 Poussins	0.1500000	0.1500000	0.1500000	0.1500000	0.1500000	0.1500000	0.1500000	0.1500000	0.1500000	0.1500000	0.1500000	0.1500000

Tableau 65 - Pertes des différentes productions [kg] sous 50 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°7

type_prod	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1 Bananiers	9.7143000	9.7143000	9.7143000	9.7143000	9.7143000	9.7143000	9.7143000	9.7143000	9.7143000	9.7143000	9.7143000	9.7143000
2 Noix_de_coco	702.0000000	702.0000000	702.0000000	702.0000000	702.0000000	702.0000000	702.0000000	702.0000000	702.0000000	702.0000000	702.0000000	702.0000000
3 Riz_1	595.6500000	902.5000000	902.5000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	595.6500000
4 Riz_2	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	59.5650000	59.5650000	90.2500000	90.2500000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
5 Riz_3	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	595.6500000	595.6500000	902.5000000	902.5000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
6 Cannelons	0.7874685	0.7874685	0.7874685	0.7874685	0.7874685	0.7874685	0.7874685	0.7874685	0.7874685	0.7874685	0.7874685	0.7874685
7 Œufs_canne	0.1469985	0.1469985	0.1469985	0.1469985	0.1469985	0.1469985	0.1469985	0.1469985	0.1469985	0.1469985	0.1469985	0.1469985
8 Porcelets_engraissés	124.7400000	124.7400000	124.7400000	124.7400000	124.7400000	0.0000000	124.7400000	124.7400000	124.7400000	124.7400000	0.0000000	0.0000000
9 Poussins	0.9450000	0.9450000	0.9450000	0.9450000	0.9450000	0.9450000	0.9450000	0.9450000	0.9450000	0.9450000	0.9450000	0.9450000

Tableau 67 - Pertes de valeur fictive brute [PHP] sous 5 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°8

type_prod	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Haricots_verts	6750	9000	9000	0	0	0	0	0	0	0	0	6750
Noix_de_coco	1648.92	1648.92	1648.92	1648.92	1648.92	1648.92	1648.92	1648.92	1648.92	1648.92	1648.92	1648.92
Piments	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270
Riz_1	11157.3	14490	14490	0	0	0	0	0	0	0	0	11157.3
Riz_2	0	0	0	0	0	9563.4	9563.4	12420	12420	0	0	0
Taro	0.675	0.675	0.675	0.675	0.675	0.675	0.675	0.675	0.675	0.675	0.675	0.675
Œufs_poule	29.304	29.304	29.304	29.304	29.304	29.304	29.304	29.304	29.304	29.304	29.304	29.304
Porcelets	875	875	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Porcelets_engraissés	0	0	8825	8825	8825	8825	8825	8825	8825	4412.5	0	0
Poussins	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
Veaux	0	0	0	0	0	0	0	4000	4000	4000	4000	4000
TOTAL	20806.199	26388.899	34338.899	10848.899	10848.899	20412.299	20412.299	27268.899	27268.899	10436.399	6023.899	23931.199

Tableau 68 - Pertes de valeur fictive brute [PHP] sous 50 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°8

type_prod	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Haricots_verts	7500	10000	10000	0	0	0	0	0	0	0	0	7500
Noix_de_coco	5496.4	5496.4	5496.4	5496.4	5496.4	5496.4	5496.4	5496.4	5496.4	5496.4	5496.4	5496.4
Piments	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
Riz_1	15142.05	22942.5	22942.5	0	0	0	0	0	0	0	0	15142.05
Riz_2	0	0	0	0	0	12978.9	12978.9	19665	19665	0	0	0
Taro	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Œufs_poule	184.6152	184.6152	184.6152	184.6152	184.6152	184.6152	184.6152	184.6152	184.6152	184.6152	184.6152	184.6152
Porcelets	4987.5	4987.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Porcelets_engraissés	0	0	50302.5	50302.5	50302.5	50302.5	50302.5	50302.5	50302.5	25151.25	0	0
Poussins	472.5	472.5	472.5	472.5	472.5	472.5	472.5	472.5	472.5	472.5	472.5	472.5
Veaux	0	0	0	0	0	0	0	22800	22800	22800	22800	22800
TOTAL	34083.8152	44384.2652	89699.2652	56756.7652	56756.7652	69735.6652	69735.6652	99221.7652	99221.7652	54405.5152	29254.2652	51896.3152

Tableau 69 - Pertes de revenus bruts [PHP] sous 5 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°8

type_prod	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Haricots_verts	6750	9000	9000	0	0	0	0	0	0	0	0	6750
Noix_de_coco	1648.92	1648.92	1648.92	1648.92	1648.92	1648.92	1648.92	1648.92	1648.92	1648.92	1648.92	1648.92
Piments	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Riz_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Riz_2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Taro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Œufs_poule	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Porcelets	875	875	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Porcelets_engraissés	0	0	8825	8825	8825	8825	8825	8825	8825	4412.5	0	0
Poussins	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Veaux	0	0	0	0	0	0	0	2000	2000	2000	2000	2000
TOTAL	9273.92	11523.92	19473.92	10473.92	10473.92	10473.92	10473.92	12473.92	12473.92	8061.42	3648.92	10398.92

Tableau 70 - Pertes de revenus bruts [PHP] sous 50 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°8

type_prod	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Haricots_verts	7500	10000	10000	0	0	0	0	0	0	0	0	7500
Noix_de_coco	5496.4	5496.4	5496.4	5496.4	5496.4	5496.4	5496.4	5496.4	5496.4	5496.4	5496.4	5496.4
Piments	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Riz_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Riz_2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Taro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Œufs_poule	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Porcelets	4987.5	4987.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Porcelets_engraissés	0	0	50302.5	50302.5	50302.5	50302.5	50302.5	50302.5	50302.5	25151.25	0	0
Poussins	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Veaux	0	0	0	0	0	0	0	11400	11400	11400	11400	11400
TOTAL	17983.9	20483.9	65798.9	55798.9	55798.9	55798.9	55798.9	67198.9	67198.9	42047.65	16896.4	24396.4

Tableau 71 - Pertes des différentes productions [kg] sous 5 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°8

type_prod	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Haricots_verts	337.5000	450.0000	450.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	337.500
Noix_de_coco	273.0000	273.0000	273.000	273.000	273.000	273.000	273.000	273.000	273.000	273.000	273.000	273.000
Piments	9.0000	9.0000	9.000	9.000	9.000	9.000	9.000	9.000	9.000	9.000	9.000	9.000
Riz_1	808.5000	1050.0000	1050.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	808.500
Riz_2	0.0000	0.0000	0.000	0.000	0.000	693.000	693.000	900.000	900.000	0.000	0.000	0.000
Taro	0.4500	0.4500	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450
Œufs_poule	0.2520	0.2520	0.252	0.252	0.252	0.252	0.252	0.252	0.252	0.252	0.252	0.252
Porcelets	1.9915	1.9915	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Porcelets_engraissés	0.0000	0.0000	70.000	70.000	70.000	70.000	70.000	70.000	70.000	35.000	0.000	0.000
Poussins	0.6250	0.6250	0.625	0.625	0.625	0.625	0.625	0.625	0.625	0.625	0.625	0.625
Veaux	0.0000	0.0000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	49.000	49.000	49.000	49.000	49.000

Tableau 72 - Pertes des différentes productions [kg] sous 5 mm en fonction du mois de l'année pour l'exploitation n°8

type_prod	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Haricots_verts	375.00000	500.00000	500.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	375.0000
Noix_de_coco	910.00000	910.00000	910.0000	910.0000	910.0000	910.0000	910.0000	910.0000	910.0000	910.0000	910.0000	910.0000
Piments	10.00000	10.00000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000
Riz_1	1097.25000	1662.50000	1662.5000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1097.2500
Riz_2	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	0.0000	940.5000	940.5000	1425.0000	1425.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Taro	0.50000	0.50000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
Œufs_poule	1.43640	1.43640	1.4364	1.4364	1.4364	1.4364	1.4364	1.4364	1.4364	1.4364	1.4364	1.4364
Porcelets	11.35155	11.35155	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Porcelets_engraissés	0.00000	0.00000	399.0000	399.0000	399.0000	399.0000	399.0000	399.0000	399.0000	199.5000	0.0000	0.0000
Poussins	3.56250	3.56250	3.5625	3.5625	3.5625	3.5625	3.5625	3.5625	3.5625	3.5625	3.5625	3.5625
Veaux	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	279.3000	279.3000	279.3000	279.3000	279.3000

F. Pourcentages de pertes des différentes productions sous un dépôt de 50 mm

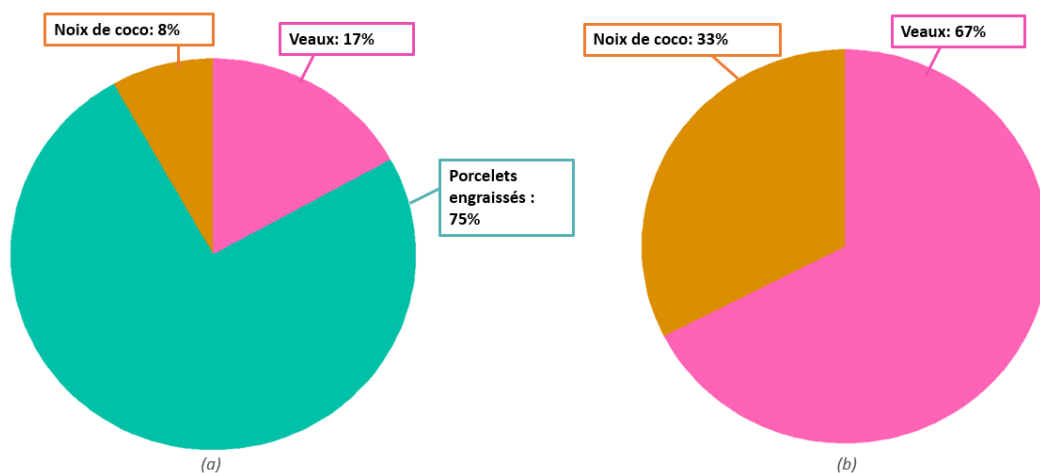


Figure 61 - Répartition des pourcentages de perte de valeur fictive des productions de l'exploitation n°1 sous 50mm au mois de mars et avril (a) et au mois de décembre (b)

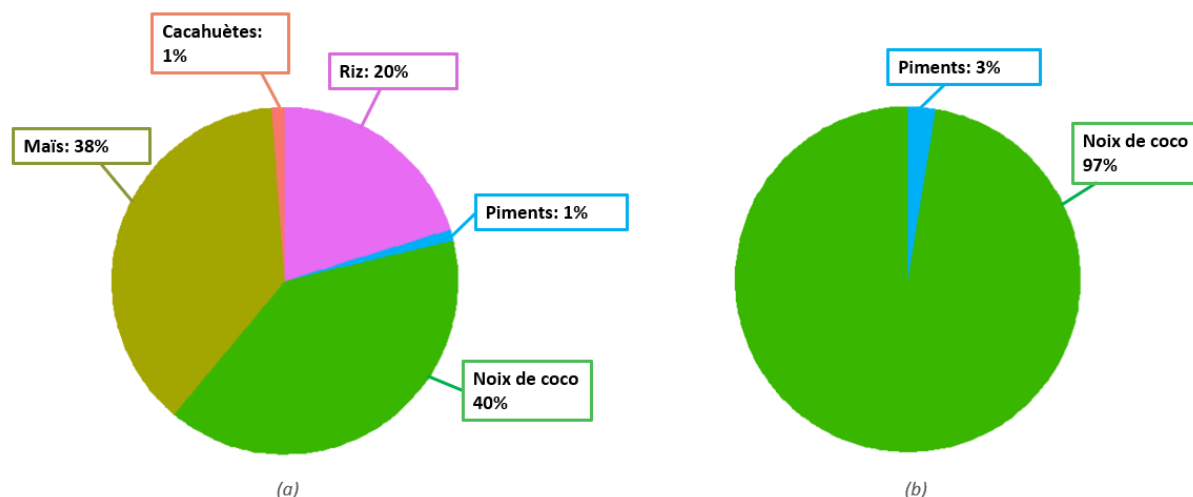


Figure 60 - Répartition des pourcentages de perte de revenus des productions de l'exploitation n°2 sous 50 mm de téphra pour le mois de septembre (a) et les mois d'avril et de mai (b)

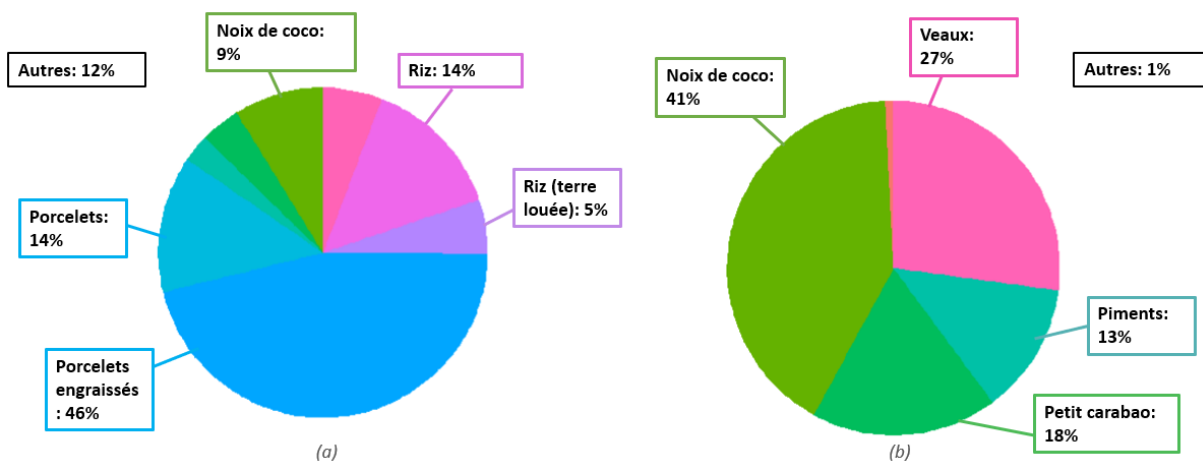


Figure 59 - Répartition des pourcentages de perte de revenus des productions de l'exploitation n°3 sous 50 mm de téphra pour le mois de février (a) et de novembre (b)

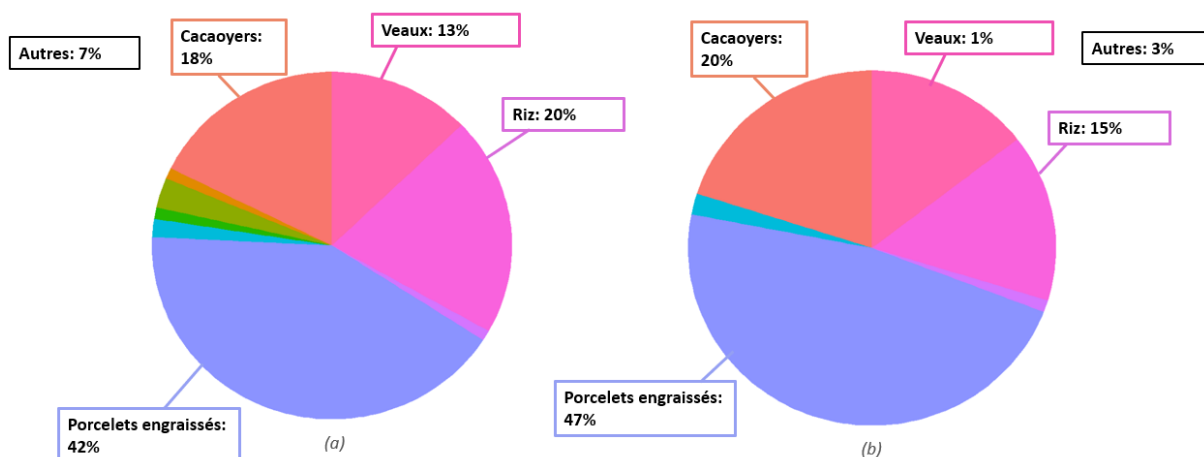


Figure 62 - Répartition des pourcentages de perte de revenus des productions de l'exploitation n°4 sous 50 mm de téphra pour le mois de novembre (a) et de janvier (b)

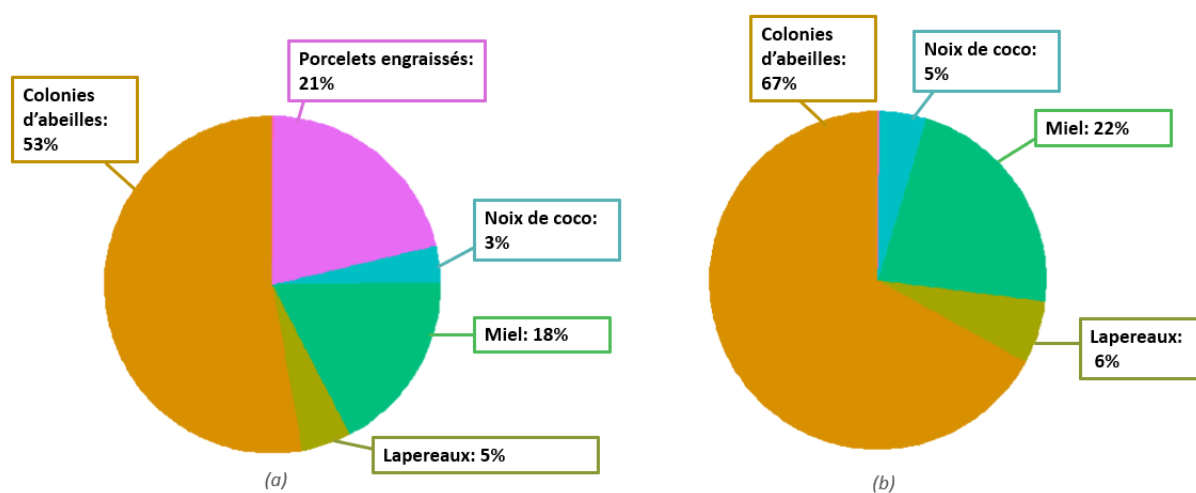


Figure 64 - Répartition des pourcentages de perte de revenus des productions de l'exploitation n°5 sous 50 mm de téphra pour les mois de février à juin (a) et d'août à janvier (b)

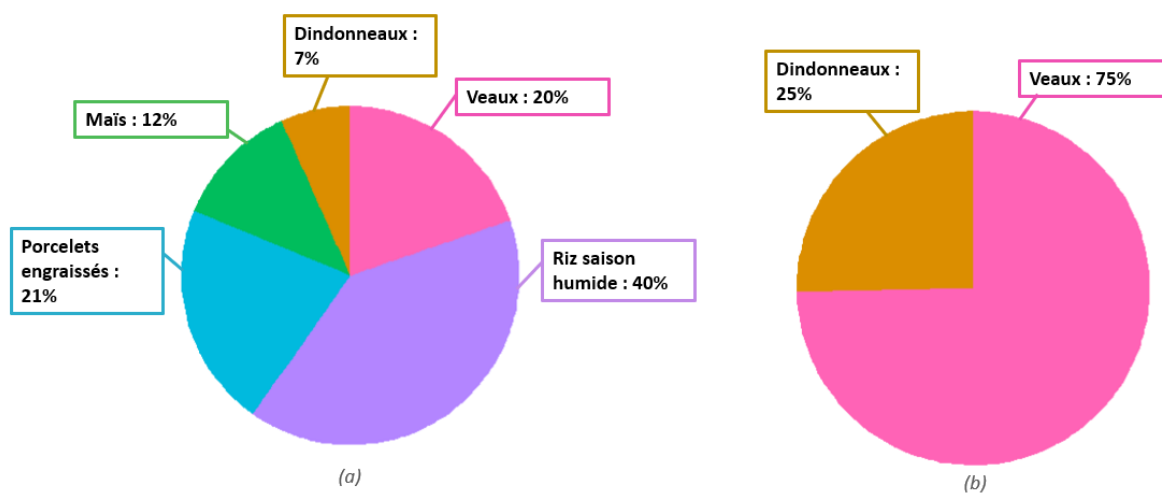


Figure 63 - Parts des pourcentages de pertes de revenus bruts des productions de l'exploitation n°6 sous 50 mm de téphra pour les mois de novembre (a) et de avril et juillet (b)

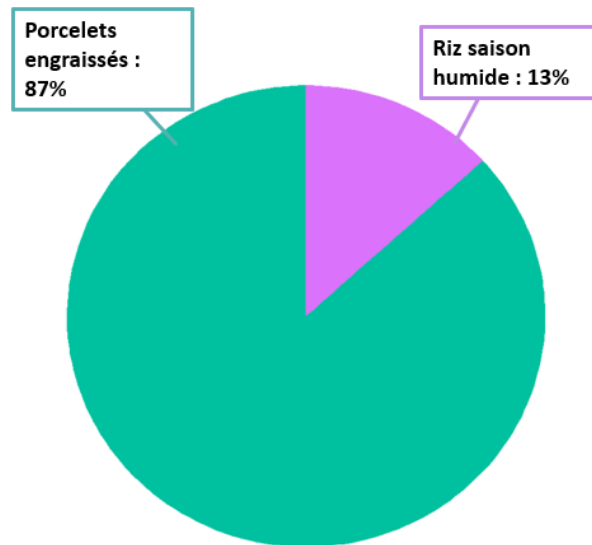


Figure 66 - Parts des pourcentages de pertes de revenus bruts des productions de l'exploitation n°7 sous 50 mm de téphra pour les mois d'août et de septembre

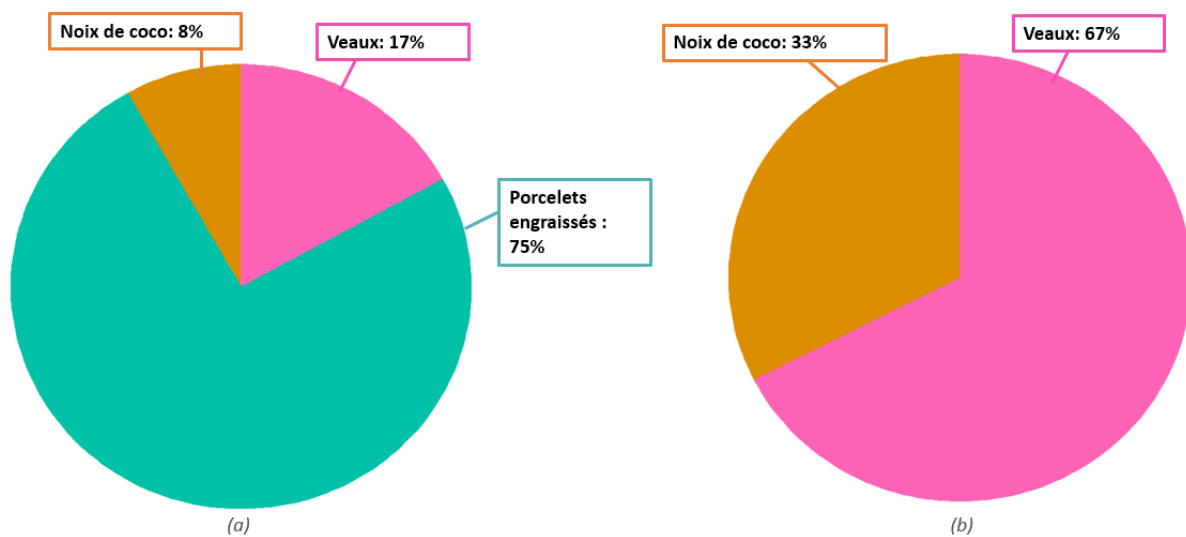


Figure 65 - Parts des pourcentages de pertes de revenus bruts des productions de l'exploitation n°8 sous 50 mm de téphra pour les mois de septembre (a) et de novembre (b)

G.

G. Unité tropicale d'élevage, Tropical Livestock Unit (=TLU)

Tableau 73 - Facteurs de conversion de TLU pour différentes espèces d'élevage ("FAO Yearbook of Forest Products 1979," n.d.)

Espèces	Facteurs de conversion TLU
Chameaux	1.0
Bovins	0.7
Moutons	0.1
Chèvres	0.1
Chevaux	0.8
Mules	0.7
Ânes	0.5
Cochons	0.2
Volaille	0.01

Mariage Clara. *Evaluation de la vulnérabilité des systèmes agraires face aux retombées de téphra. Cas d'étude : volcan Mayon, Philippines.* Faculté des bioingénieurs, Université Catholique de Louvain, 2024. Prom. : Delmelle Pierre.

L'agriculture sur les sols volcaniques nourrit au moins 10% de la population mondiale. Ce chiffre s'explique notamment par le potentiel agronomique des sols volcaniques qui découlent de leurs propriétés uniques. Dès lors, l'agriculture à proximité des volcans assure la sécurité alimentaire de la population aux échelles locale et régionale. Paradoxalement, cette proximité expose et menace l'agriculture au risque de retombées de téphra, un matériau volcanique issu de la fragmentation du magma. L'évaluation de la vulnérabilité des exploitations agricoles face aux retombées de téphra fait partie intégrante de l'analyse des risques nécessaire à l'élaboration de stratégies adéquates afin de limiter les dégâts causés lors d'une éruption. À ce jour, les études qui évaluent la vulnérabilité de l'agriculture face aux retombées de téphra se limitent à décrire et quantifier l'impact sur les cultures et l'élevage de manière isolée. La structure et le fonctionnement des exploitations agricoles ne sont jamais pris en considération dans la caractérisation de cette vulnérabilité. Or, il existe généralement des flux de matières qui circulent entre les éléments qui constituent une exploitation, ce qui augmentera potentiellement la vulnérabilité de celle-ci.

L'objectif de ce travail est d'améliorer nos connaissances sur la vulnérabilité des exploitations agricoles face aux retombées de téphra en utilisant une approche systémique. Plus spécifiquement, nous souhaitons i) décrire la structure et le fonctionnement de huit systèmes agraires autour du volcan Mayon, aux Philippines, ii) analyser leur situation financière sur une période d'un an lorsqu'elles ne sont pas soumises à des retombées de téphra, iii) estimer les pertes de productions que subissent les exploitations sous deux épaisseurs de téphra en fonction du mois de l'année et iv) identifier les répercussions que ces pertes pourraient avoir sur le reste du système.

Nos résultats ont montré l'importance de la période de l'année et des caractéristiques spécifiques aux exploitations sur l'évaluation de leur vulnérabilité face aux retombées de téphra. Nous remettons donc en question l'idée de développer des stratégies génériques applicables à toutes les exploitations de la région du Mayon.