

15^{èmes} Journées de Recherche en Sciences Sociales (JRSS) – 9 et 10
Décembre 2021 - Toulouse

How to reconcile agricultural production with environmental preservation through an efficiency analysis: Land sparing versus Land sharing?

Salomé Kahindo¹

(1) *CESAER, AgroSup Dijon, INRAE, Université Bourgogne Franche-Comté, France*

Plan

☒ Introduction

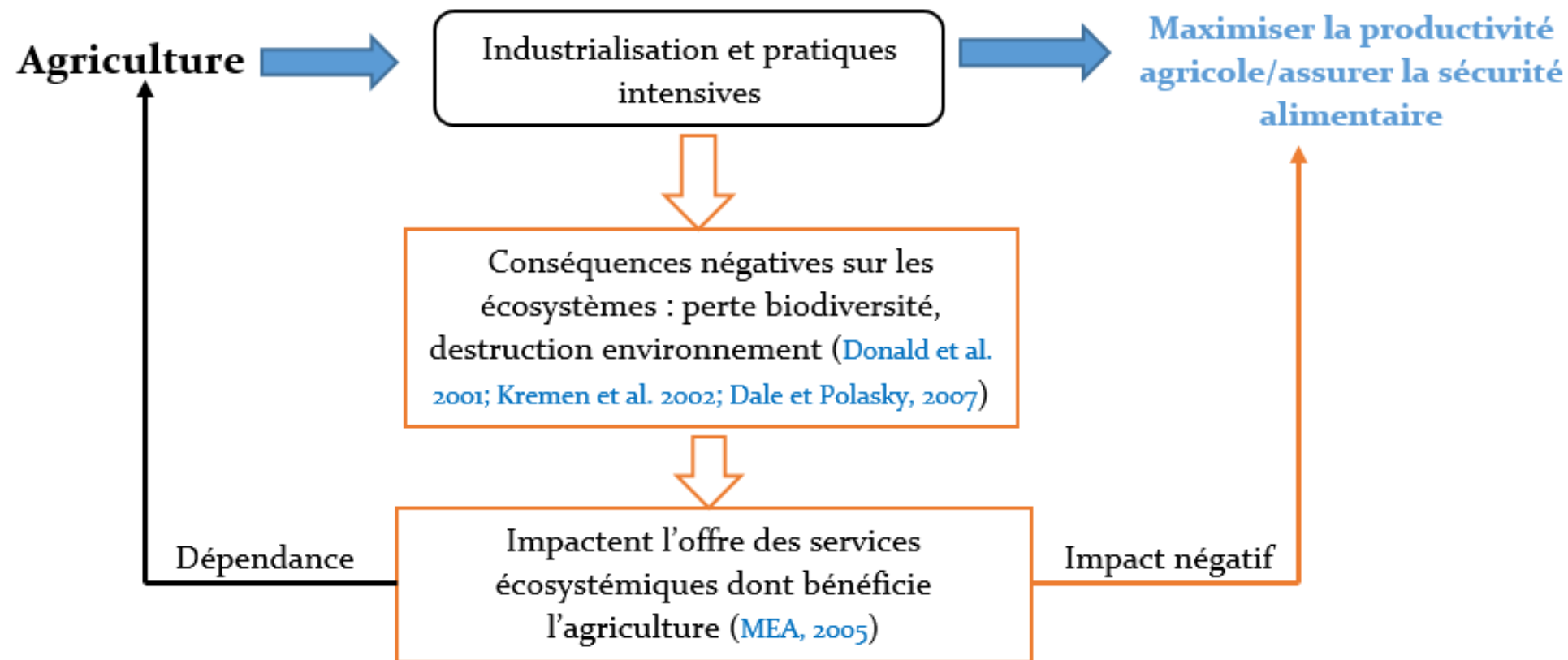
☐ Objectif et contribution

☐ Méthodologie

☐ Résultats

☐ Conclusion

Interactions entre le développement agricole et préservation de l'environnement/biodiversité



□ => D'où l'intérêt de concilier agriculture et biodiversité/environnement.

L'une des solutions proposées dans la littérature : la réduction de l'intensité agricole

- ❑ *L'intensité agricole (IA)*: un facteur clé d'accroissement de la production et d'érosion de la biodiversité.
- ❑ L'intensité : un levier pour concilier agriculture et biodiversité/environnement (Teillard 2012). Exemple: la mise en œuvre des pratiques extensives, l'intensification durable (Garnett et al., 2013; Godfray and Garnett, 2014; Pretty, 2018).
- ❑ Au delà des solutions de réduction de l'IA, Teillard et al. (2017) ; Shi et al. (2021) soulignent l'importance de la répartition de cette intensité dans l'espace ➔ nécessité d'un **planning de gestion de l'espace agricole**.

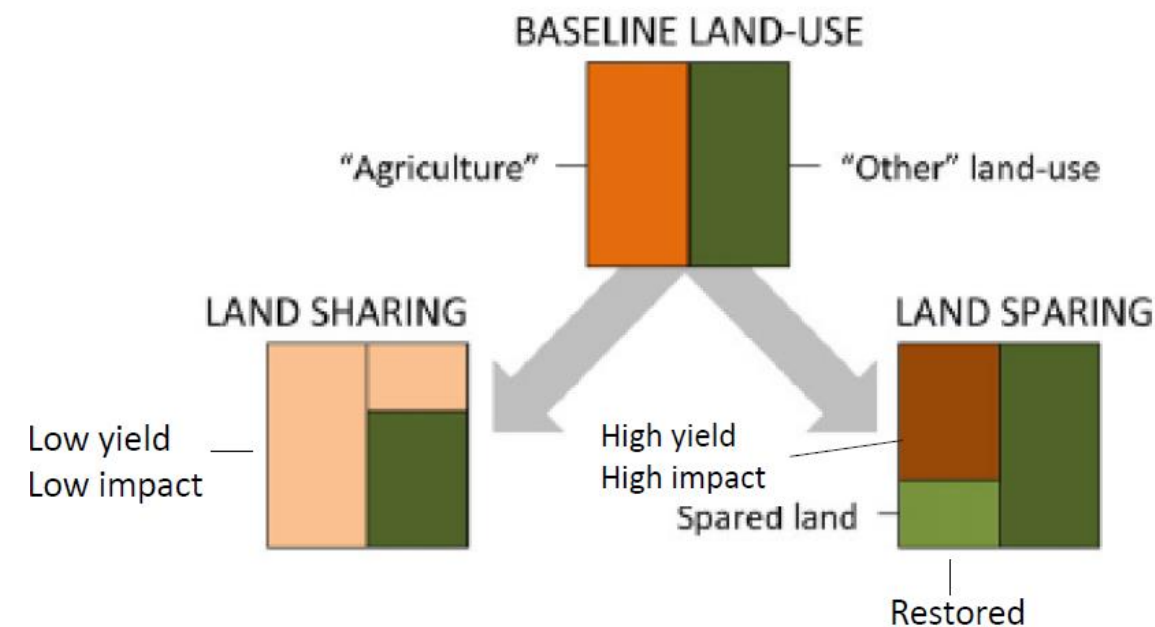
Deux stratégies de gestion de l'espace rural développées en écologie: land sharing – land sparing

Figure 1 : Strategies land sharing et land sparing (Green et al., 2005)

❑ **L'objectif :** augmenter la production agricole avec moins de dommages sur la biodiversité.

Applications de ces deux stratégies :

- Préservation de la biodiversité en agriculture (Fischer et al., 2014; Kamp et al., 2015; Phalan et al., 2011), en zones urbaines (Caryl et al., 2016; Collas et al., 2017), en forêt (Edwards et al., 2014; Paul and Knoke, 2015).
- Préservation de l'environnement (Legras et al., 2018), des services écosystémiques (Shi et al., 2021) en agriculture.

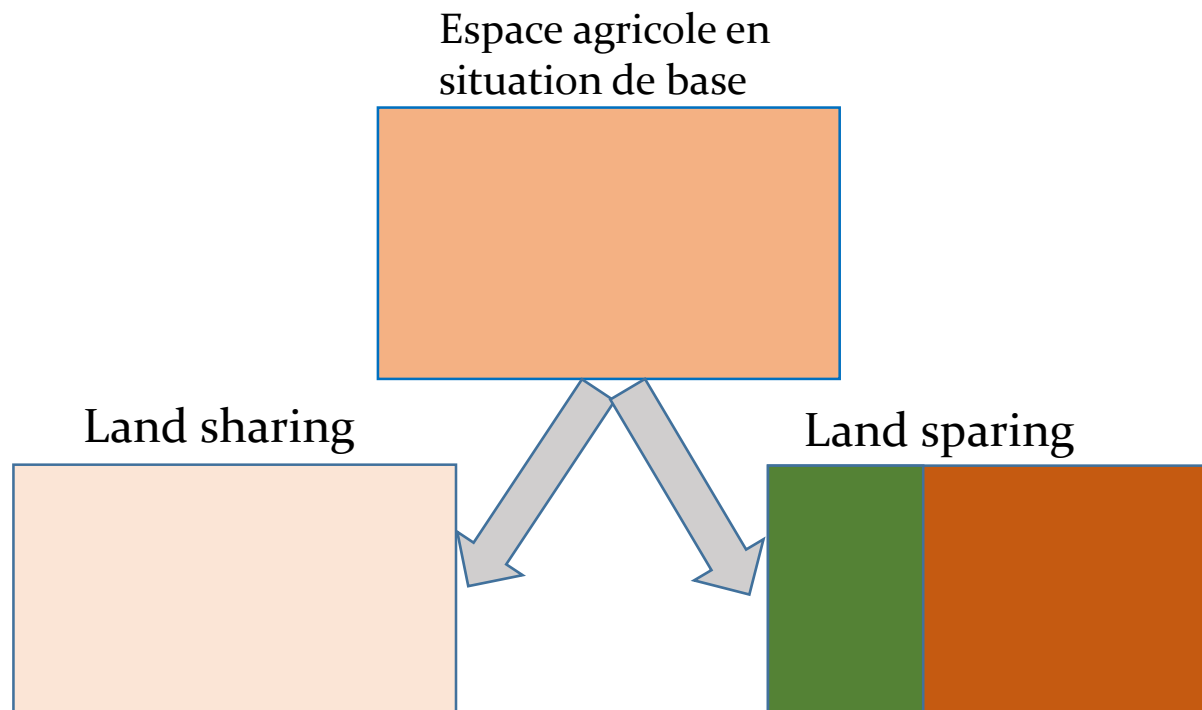


Plan

- Introduction
- Objectif et contribution
- Méthodologie
- Résultats
- Conclusion

Objectif du papier :

- ❑ Analyser comment concilier dans l'espace la production agricole avec la préservation de l'environnement à travers la mise en œuvre du land sharing et du land sparing.
- Focus sur le seul espace agricole ➔ la réduction de l'intensité agricole (au sens large).



- ❑ Mesurons le potentiel de mise en œuvre du **land sharing** (minimisation inputs variables) et du **land sparing** (minimisation input terres).
- ❑ Pour quelle catégorie d'exploitations chacune de ces deux stratégies serait plus appropriée ?

Quel arbitrage entre le land sharing et le land sparing ?

□ Dans la littérature :

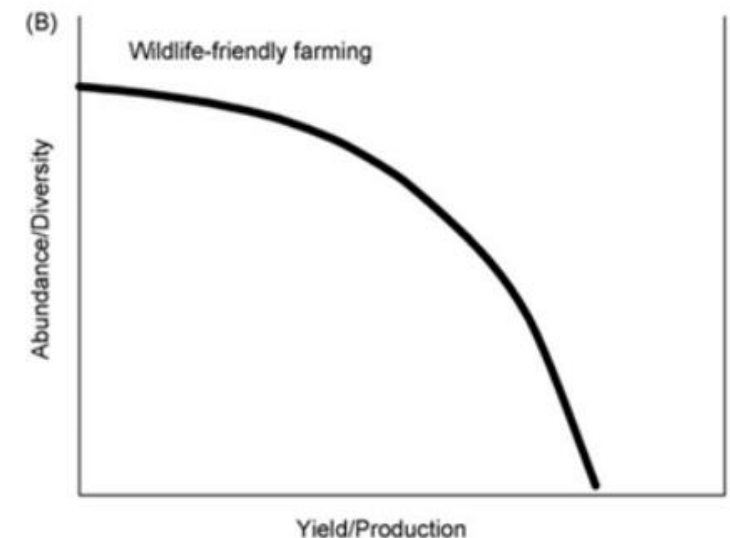
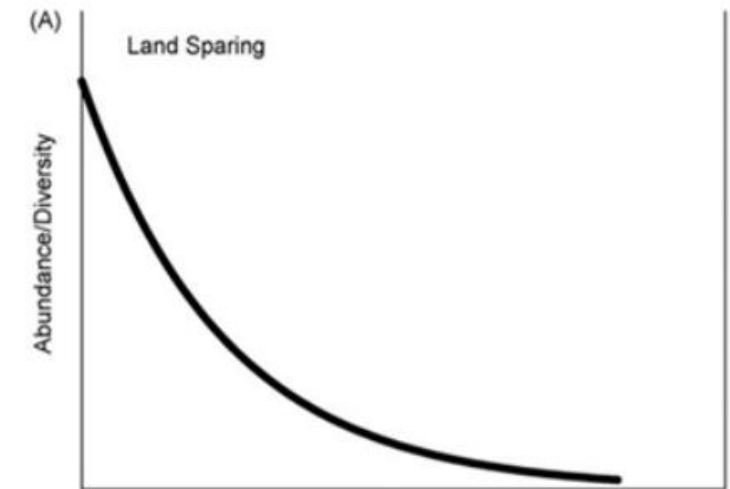
➤ Principalement en écologie:

- Arbitrage basé sur la relation entre la production agricole et la densité des espèces à protéger : « ***the agricultural yield-species density curve*** » ([Green et al., 2005](#); [Phalan et al., 2011](#))

➤ En sciences sociales :

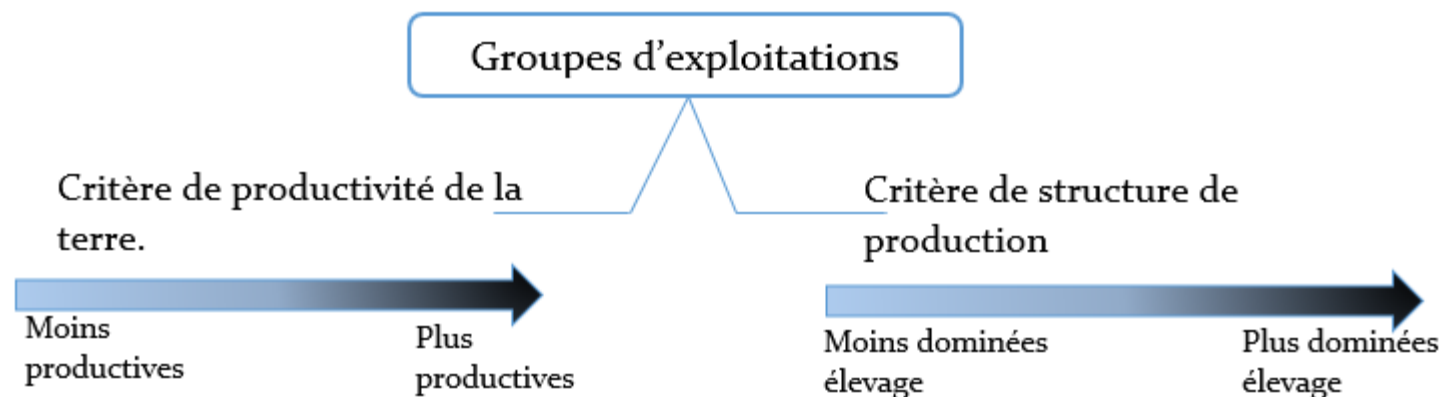
Facteurs qui peuvent influencer cet arbitrage:

- le comportement rationnel des agriculteurs ([Salles et al., 2017](#))
- le rapport coût-efficacité de chaque stratégie ([Legras et al., 2018](#))
- Influence de qualité du sol, du type d'inputs utilisés ([Martinet and Barraquand, 2012](#))
- Effets du marché agricole ([Desquilbet et al., 2017](#))



Contribution du papier

- ❑ Utiliser une *analyse de l'efficience* avec la méthode DEA (Data Envelopment Analysis) pour mesurer le potentiel de mise en œuvre du land sharing et du land sparing.
- ❑ Considérer une analyse à l'échelle globale et à l'échelle des groupes d'exploitations :



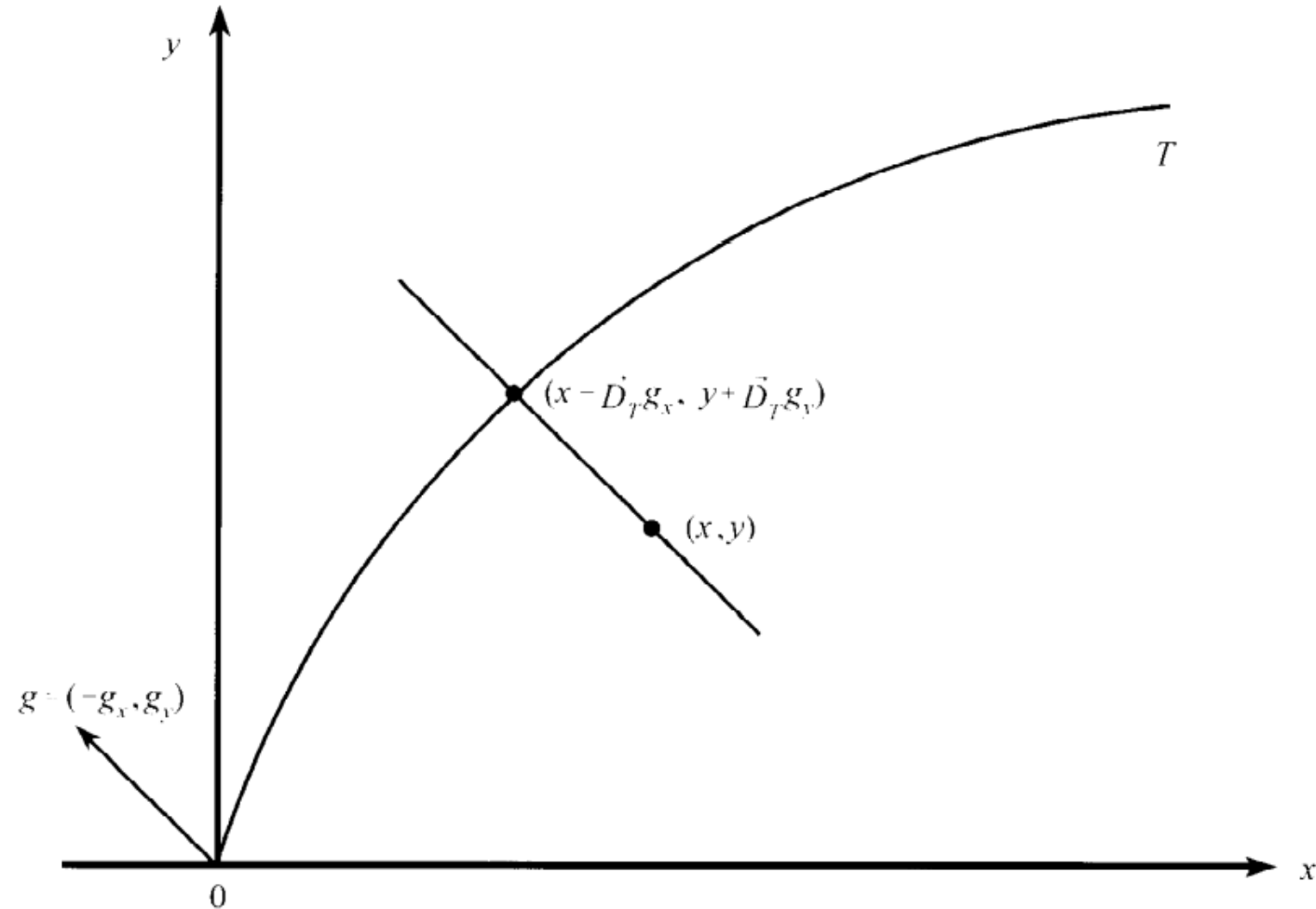
➔ Le but est de savoir pour quelle catégorie d'exploitation le land sharing et le land sparing seraient plus approprié.

Plan

- ❑ Introduction
- ❑ Objectif et contribution
- ❑ Méthodologie**
- ❑ Résultats
- ❑ Conclusion

Approche non paramétrique avec la méthode DEA (Charnes et al. 1978)

- ❑ **DEA** : méthode d'estimation de frontière de production => mesurer la performance relative des unités de décision (DMUs) par rapport à cette frontière.
- ❑ Avec les *Fonctions de distance directionnelle*, DDF
(Chambers et al., 1998, 1996).



Source: Färe et Grosskopf (2000)

Variables et modèles

○ *Deux outputs :*

- | | |
|--|----------------------------------|
| - Crop production en euros | céréales-oléagineux-protéagineux |
| - Livestock production en euros | production animale+ prairies |

○ *Deux catégories d'Inputs:*

➤ *Inputs fixes :*

- Terre en ha,
- Capital en euros et
- Travail en UTA.

➤ *Inputs variables :*

- | | |
|---------------------------------------|---|
| - Consommations intermédiaires | engrais, semences, alimentation animale, frais vétérinaire, frais d'élevage, eau, électricité, gaz, carburant |
| - Pesticides | herbicides, insecticides, fongicides, régulateurs, autres produits chimiques |
| - Autres coûts | travaux tiers, assurance, maintenance, ... |

Construction du Modèle pour le land sharing et le land sparing

□ Considérons:

K le nombre d'exploitations $k = (1, \dots, K)$

N le nombre d'inputs $x_k = (x_{1k}, \dots, x_{Nk}) \in R_+^N$

M le nombre d'outputs $y_k = (y_{1k}, \dots, y_{Mk}) \in R_+^M$

➤ Le vecteur d'inputs est subdivisé en *inputs variables et fixes* $x_k = (x_{vk}, x_{fk})$, inputs fixes subdivisés en terre (x_{fkL}) et en capital-travail ($x_{fkK,W}$).

➤ La technologie de production $T_k = \{(x_k, y_k) \in R_+^{n+m} : x_k \text{ can produce } y_k\}$.

➤ Fonction de distance directionnelle:

$$\vec{d}(x_k, y_k, -g_x, g_y) = \sup \{ \beta : (x_k - \beta g_x, y_k + \beta g_y) \in T_k \}$$

... modèle pour la stratégie *land sparing*

$$\vec{d}(x_k, y_k, -g_x, 0) = \max_{\beta, \lambda_k}$$

Subject to:

- **Land sparing:** mesure le potentiel de réduction de la surface agricole, toute chose restant égale par ailleurs.

- Direction de la mesure de l'efficiency:

$$g = (-g_x, g_y) = \left(- \sum_{k=1}^K x_{fk^L}, 0 \right).$$

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^K \lambda_k y_{rk} &\geq y_{ro} & r &= (1, \dots, M) \\ \sum_{k=1}^K \lambda_k x_{fk^L} &\leq x_{fo^L} - \beta * \sum_{k=1}^K x_{fk^L} & f^L &= (1, \dots, n) \quad \leftarrow \\ \sum_{k=1}^K \lambda_k x_{fk^{K,W}} &\leq x_{fo^{K,W}} & f^{K,W} &= (n+1, \dots, n') \\ \sum_{k=1}^K \lambda_k x_{vk} &\leq x_{vo} & v &= (n'+1, \dots, N) \\ \sum_{k=1}^K \lambda_k &= 1 & k &= (1, \dots, K) \\ \lambda_k &\geq 0, \beta &\geq 0 \end{aligned}$$

... modèle pour la stratégie *land sharing* (1)

$$\vec{d}(x_k, y_k, -g_x, 0) = \max_{\beta, \lambda_k} \beta$$

Subject to:

$$\sum_{k=1}^K \lambda_k y_{rk} \geq y_{ro} \quad r = (1, \dots, M)$$

$$\sum_{k=1}^K \lambda_k x_{fk} \leq x_{fo} \quad f = (1, \dots, n')$$

$$\sum_{k=1}^K \lambda_k x_{vk} \leq x_{vo} - \beta * \sum_{k=1}^K x_{vk} \quad v = (n' + 1, \dots, N) \quad \leftarrow$$

$$\sum_{k=1}^K \lambda_k = 1 \quad k = (1, \dots, K)$$

$$\lambda_k \geq 0, \beta \geq 0$$

□ **Option 1:** réduire l'usage des inputs variables sur l'ensemble des terres agricoles à niveau d'output constant.

□ **Direction de la mesure de l'effcience :**
 $g = (-g_x, g_y) = (-\sum_{k=1}^K x_{vk}, 0).$

... modèle pour la stratégie *land sharing* (2)

- **Option 2:** réduire l'usage des inputs variables sur l'ensemble des terres agricoles **et** augmenter les outputs.

- Direction de la mesure de l'efficienne :

$$g = (-g_x, g_y) = \left(-\sum_{k=1}^K x_{vk}, \sum_{k=1}^K y_{rk} \right)$$

$$\vec{d}(x_k, y_k, -g_x, g_y) = \max_{\beta, \lambda_k} \beta$$

Subject to:

$$\sum_{k=1}^K \lambda_k y_{rk} \geq y_{ro} + \beta * \sum_{k=1}^K y_{rk} \quad r = (1, \dots, M) \quad \leftarrow$$

$$\sum_{k=1}^K \lambda_k x_{fk} \leq x_{fo} \quad f = (1, \dots, n')$$

$$\sum_{k=1}^K \lambda_k x_{vk} \leq x_{vo} - \beta * \sum_{k=1}^K x_{vk} \quad v = (n' + 1, \dots, N) \quad \leftarrow$$

$$\sum_{k=1}^K \lambda_k = 1 \quad k = (1, \dots, K)$$

$$\lambda_k \geq 0, \beta \geq 0$$

Pour chaque modèle: les scores d'inefficience sont agrégés à l'échelle des groupes d'exploitations

□ 4 groupes suivant le critère de *productivité de la terre*

Table 3: Farm groups according to the criterion of agricultural land productivity

	Group 1 (55 farms)	Group 2 (55 farms)	Group 3 (55 farms)	Group 4 (55 farms)
Land productivity in euro/hectare	[798 – 1,259[[1,259 – 1,543[[1,543 – 2,120[[2,120– 4,331]
Levels of land productivity	Low	Medium	High	Very High

□ 3 groupes suivant le critère de *structure de la production*

Table 4: Farm groups according to the criterion of production structure

	Group 1	Group 2	Group 3
Shares of livestock production in the overall production	Minority (< 50 %)	Equivalent (= 50 %)	Majority (> 50 %)
Number of farms	121	2	97

Données

- ❑ **Département de la Meuse**, fournies par l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE, SAE2), produites par le Centre de Comptabilité et de Gestion de la Meuse (CERFRANCE Adheo 109).
- ❑ Des données comptables
- ❑ Les productions végétales et animales sont disponibles.
- ❑ Un échantillon de *220 exploitations observées* en 2014-2015-2016, soit 660 observations.

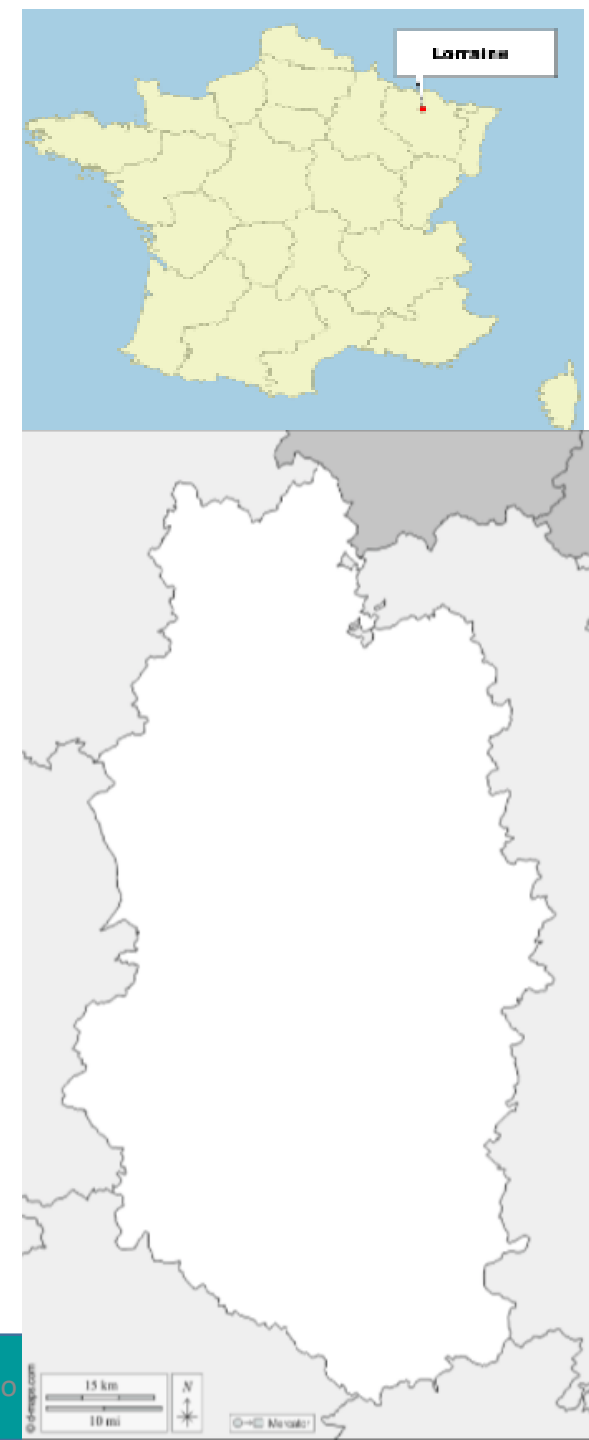


Table 1. Descriptive statistics for the 220 farms per year

Year	Mean	Standard deviation	Min	Max
2016				
Crops production (in euros)	171,443	113,119	26,242	630,115
Livestock production (in euros)	148,490	133,773	0	659,781
Land (in hectare)	221	112	55	748
Labor (in AWU)	1.92	0.96	0.2	6
Capital (in euros)	62,111	40,002	2,988	230,452
Operational costs (in euros)	209,995	117,307	49,631	719,046
2015				
Crops production (in euros)	215,768	148,058	22,266	873,873
Livestock production (in euros)	160,381	140,753	0	685,002
Land (in hectare)	220	114	63	801
Labor (in AWU)	1.98	0.97	0.2	6.50
Capital (in euros)	62,857	38,536	3,026	201,237
Operational costs (in euros)	214,885	120,186	52,674	755,194
2014				
Crops production (in euros)	214,299	148,745	25,613	893,707
Livestock production (in euros)	174,467	149,008	0	690,478
Land (in hectare)	218	112	48	747
Labor (in AWU)	2.04	0.98	0.2	6
Capital (in euros)	62,473	38,644	3,026	214,806
Operational costs (in euros)	220,765	212,136	45,739	743,638

Plan

- ❑ Introduction
- ❑ Objectif et contribution
- ❑ Méthodologie
- ❑ Résultats**
- ❑ Conclusion

Potentiel de mise en œuvre du land sparing et du land sharing en Meuse²¹

□ Scores d'inefficience à l'échelle individuelle par an et par stratégie de gestion de l'espace

Table 5: Inefficiency scores for the 220 farms for each year

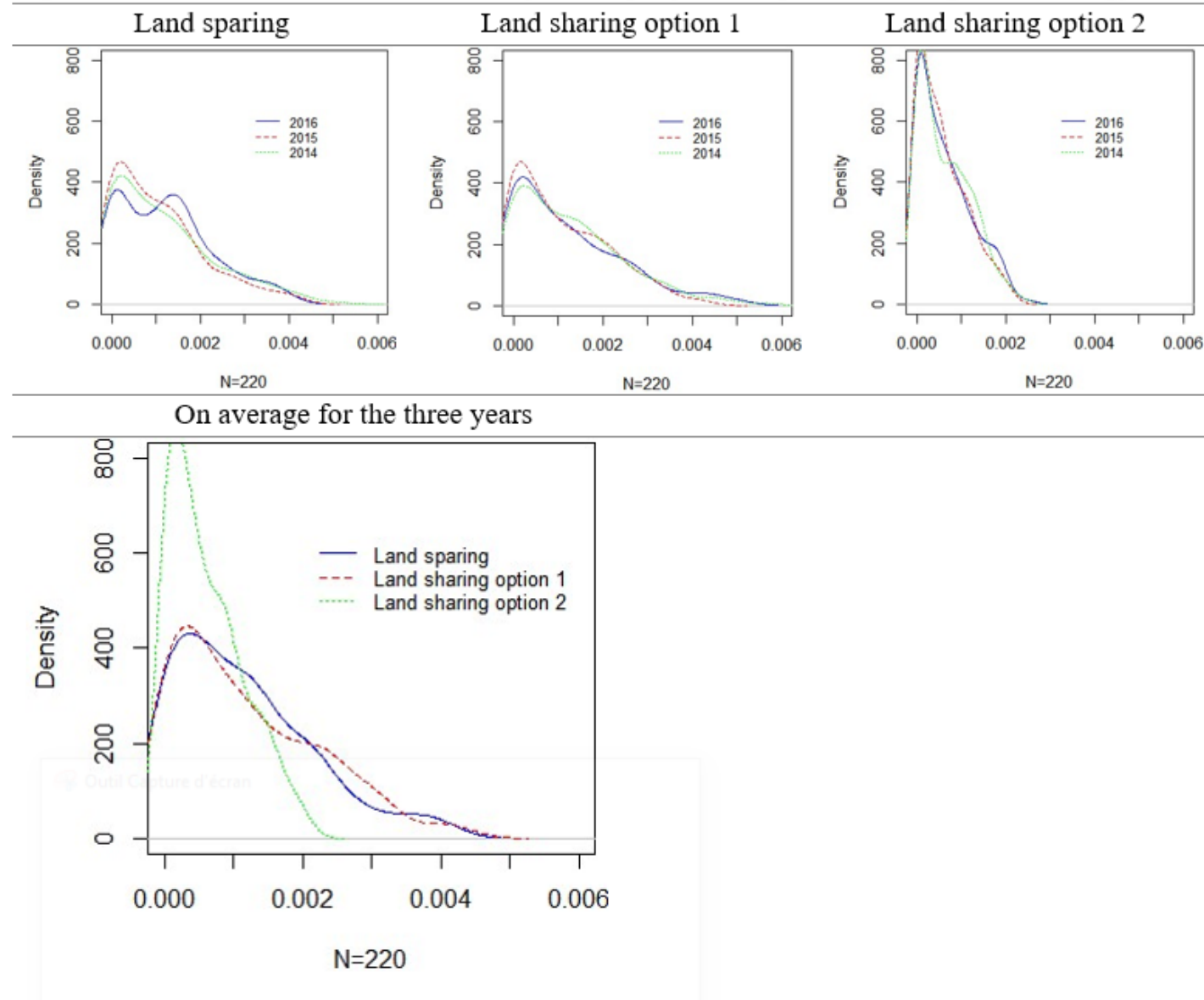
Year	Mean	Standard deviation	Min	Max	# of farms with score = 0
Land sparing					
2016	0.001228	0.001056	0.000000	0.004190	48
2015	0.001053	0.001018	0.000000	0.004200	51
2014	0.001182	0.001149	0.000000	0.005060	46
Land sharing option 1					
2016	0.001226	0.001237	0.000000	0.005110	48
2015	0.001091	0.001050	0.000000	0.004250	51
2014	0.001258	0.001198	0.000000	0.005740	46
Land sharing option 2					
2016	0.000620	0.000599	0.000000	0.002540	48
2015	0.000570	0.000551	0.000000	0.002190	51
2014	0.000626	0.000578	0.000000	0.002420	46

□ Scores d'inefficience en moyenne sur la période 2014-2016 par stratégie de gestion de l'espace

Table 6: Inefficiency scores on average over three years for the land sharing and land sparing strategies

	Mean	Standard deviation	Min	Max	# of farms with score = 0
Land sparing	0.001154	0.001001	0.000000	0.004166	31
Land sharing option 1	0.001191	0.001052	0.000000	0.004310	31
Land sharing option 2	0.000605	0.000530	0.000000	0.002107	31

Figure 1: Kernel distribution of inefficiency scores per year and per land management strategy



Potentiel de mise en œuvre du land sparing-land sharing à l'échelle de la Meuse²³

Table 7: Agricultural land contraction due to the elimination of the technical inefficiency at the Meuse department scale (in the **land sparing strategy**)

	Observed level in hectare	Optimal level after eliminating the technical inefficiency in hectare	Score of inefficiency	# of efficient <u>DMUs</u>	# of inefficient <u>DMUs</u>	Reduction of land in hectare
Land	48,373	36,092.64	0.253864	31	189	12,280.36 (25.39%)

Table 8: Potential contraction of variable inputs and expansion of outputs due to the elimination of the technical inefficiency at the Meuse department scale (in the **land sharing strategy**)

	Observed level in euros	Optimal level after eliminating technical inefficiency in euros	Score of inefficiency	# of efficient <u>DMUs</u>	# of inefficient <u>DMUs</u>	Reduction of variable inputs/expansion of outputs in euros
Option 1						
Variable inputs	47,347,221	34,934,045.59	0.262164	31	189	12,413175.41 (26.21%)
Option 2						
Variable inputs	47,347,221	41047149	0.133061	31	189	6300072.05 (13.31%)
Output 1 (crops)	44,110766.3	49,980192.2	0.133061	31	189	5,869425.91 (+13.31%)
Output 2 (livestock)	35,444826	40,161152.6	0.133061	31	189	4,716326.59 (+13.31%)

Contribution des groupes d'exploitations au land sparing et land sharing (1)

□ Suivant le critère de *productivité de la terre*

Table 9: Contribution of farm groups to the land sparing and the land sparing according to the land productivity criterion

	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4	Total
Levels of productivity	Low	Medium	High	Very High	
Land sparing					
Contribution of farm groups to the reduction of land in %	8.37	7.60	6.07	3.35	25.39
Land sharing					
<i>Option 1</i>					
Contribution of farm groups to the reduction of variable inputs in %	4.03	5.43	8.03	8.72	26.21
<i>Option 2</i>					
Contribution of farm groups to the reduction of variable inputs while increasing outputs in %	2.39	2.98	4.36	3.57	13.31

...Contribution des groupes d'exploitations au land sparing et land sharing (2)

□ Suivant le critère de la *structure de production*

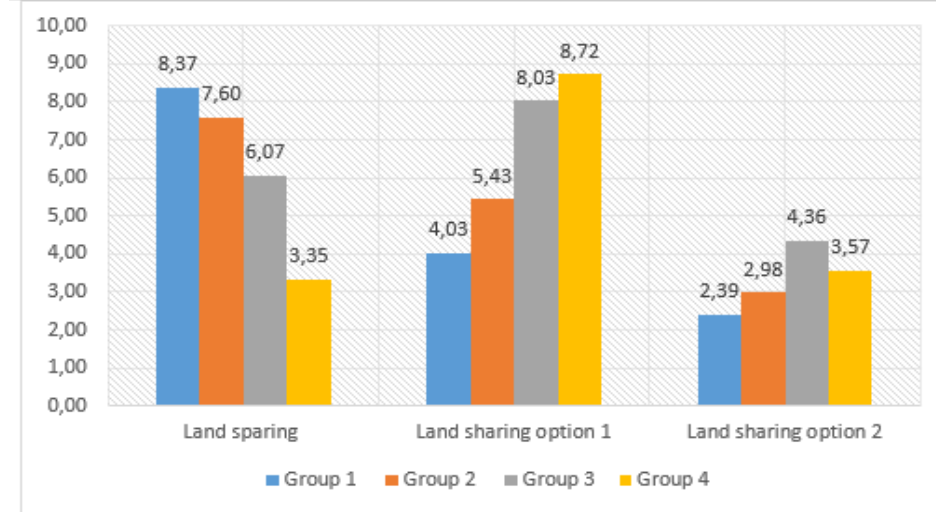
Table 10: Contribution of farm groups to the land sparing and land sharing according to the production structure criterion

	Group 1 Minority (< 50 %)	Group 2 Equivalent (= 50 %)	Group 3 Majority (> 50 %)	Total
Share of livestock production in the total production				
Land sparing				
Contribution of farm groups to the reduction of agricultural land in %	15.78	0.25	9.36	25.39
Land sharing				
Option 1				
Contribution of farm groups to the reduction of variable inputs in %	10.78	0.29	15.13	26.21
Option 2				
Contribution of farm groups to the reduction of variable inputs while increasing outputs in %	5.70	0.13	7.48	13.31

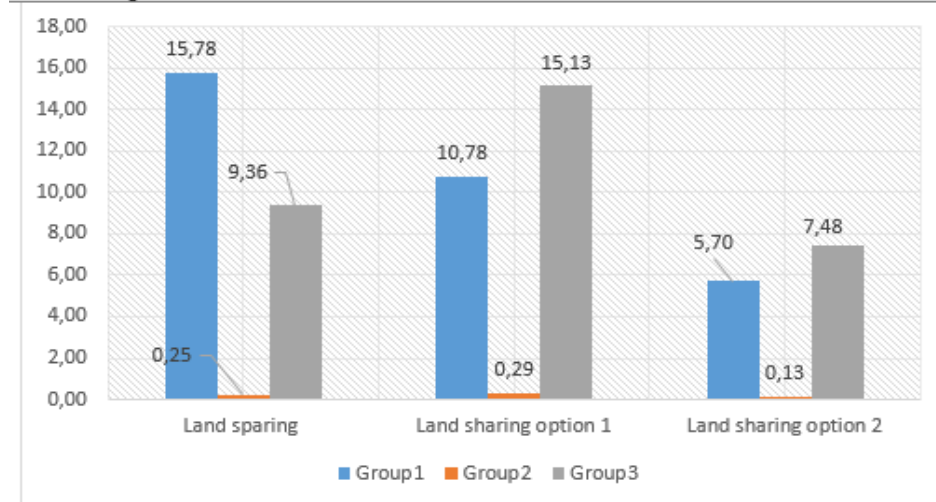
Les stratégies Land sparing-land sharing: pour quelle catégorie d'exploitation ? ²⁶

Figure 2: Summary of the contribution of farm categories to the land sharing and the land sparing strategies.

With the land productivity criterion



With the production structure criterion



☐ Suivant le critère de productivité:

- **Land sparing** : serait plus approprié aux exploitations les moins productives.
- **Land sharing** : serait plus approprié aux exploitations les plus productives.

☐ Suivant le critère de structure de production:

- **Land sparing** : serait plus approprié aux exploitations moins dominées par l'élevage.
- **Land sharing**: serait plus approprié aux exploitations plus dominées par l'élevage.

Plan

- ❑ Introduction
- ❑ Objectif et contribution
- ❑ Méthodologie
- ❑ Résultats
- ❑ Conclusion**

En conclusion

- ❑ Notre analyse montre qu'il est possible de réduire la pression de l'agriculture sur l'environnement en Meuse:
 - en mettant hors production agricole une partie des terres agricoles (**land sparing**), ou
 - en réduisant les inputs variables sur l'ensemble des terres agricoles (**land sharing**).

- ❑ En tenant compte de catégories d'exploitations:
 - **Critère de productivité**: le land sparing serait plus approprié aux exploitations moins productives, et le land sharing aux plus productives.
 - **Critère de structure de la production**: le land sparing serait plus approprié aux exploitations moins dominées par l'élevage (plus dominées par production végétale) et le land sharing aux plus dominées par l'élevage.

Perspectives du papier

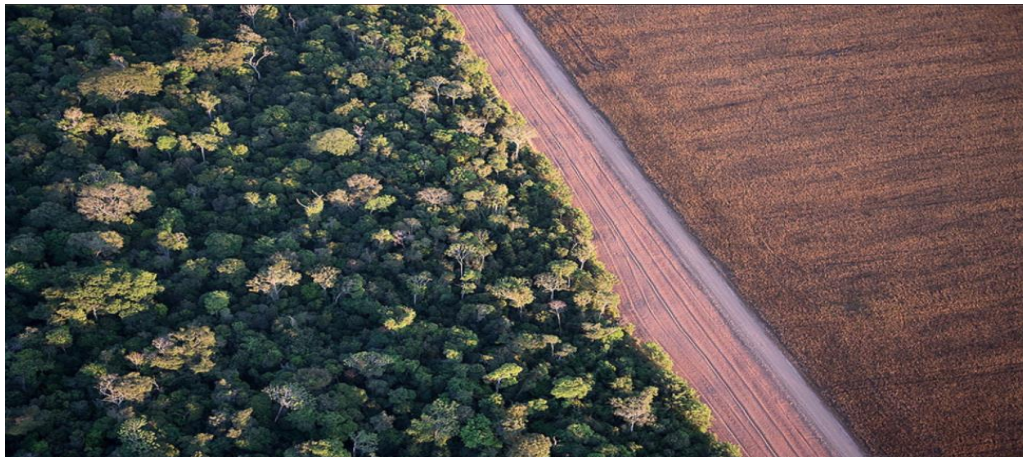
- ❑ Quantifier les bénéfices du land sharing et du land sparing sur l'environnement, la biodiversité, la qualité de l'eau, le stockage de carbone.
- ❑ Prendre en compte d'autres facteurs dans l'arbitrage entre le land sparing et le land sharing au delà de ces deux caractéristiques des exploitations agricoles : la productivité et la structure de la production.

Merci beaucoup de votre attention !

Salomé Kahindo

Email: salome.kahindo@agrosupdiyon.fr

Land sparing



Land sharing

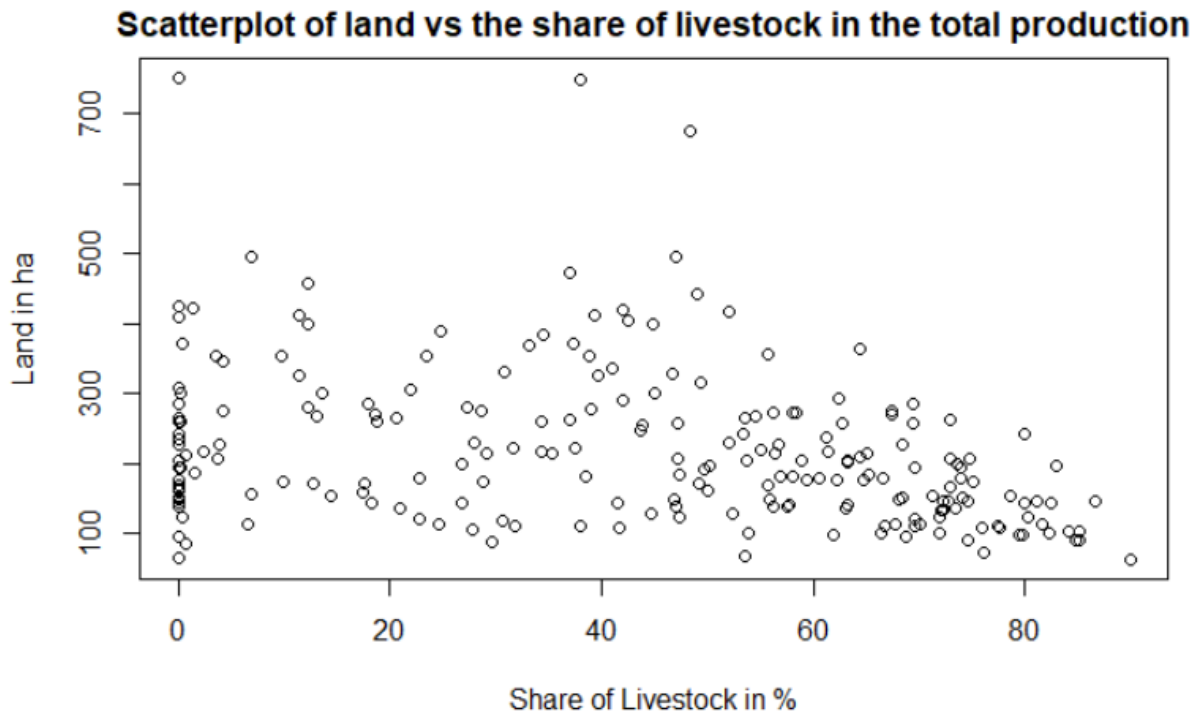


Annexes

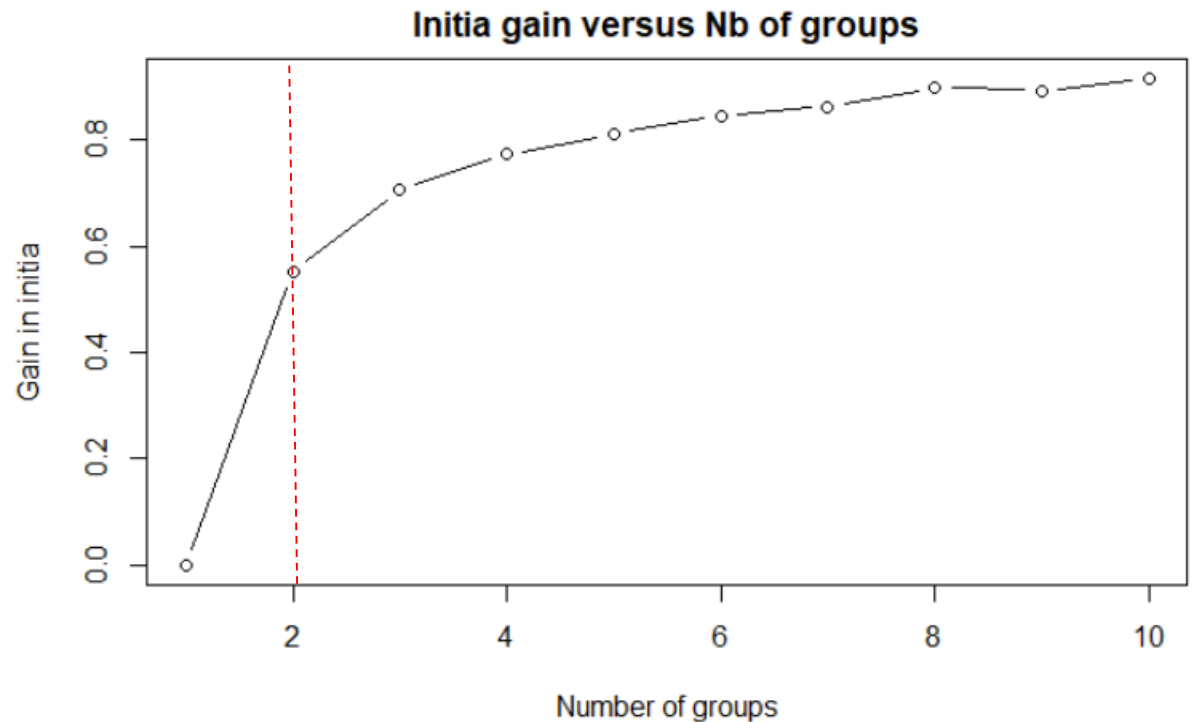
A. Classification des exploitations par la méthode K-means

❑ **Critère de structure de la production** : part de l'élevage dans la production totale

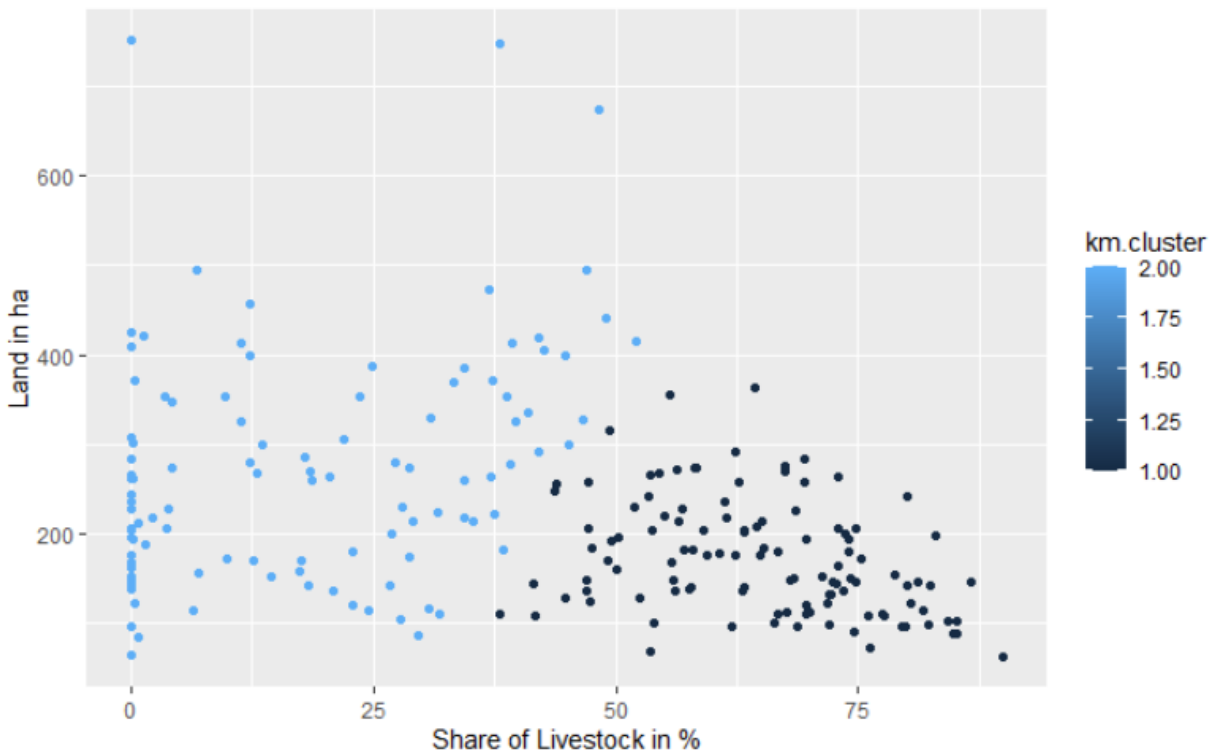
Nuage de points surface agricole vs part de l'élevage dans la production totale



Détermination du nombre optimal de groupes



Nombre optimal de groupes = 2



Caractéristiques de ces groupes

Groups	Nb of farms	Land	Labor	Capital	Standard Variable inputs	Pesticide inputs	Share of Livestock in %	Share of Crops in %
1	113	172.71	2.07	61617.81	200249.3	16472.17	64.88	35.11
2	107	269.57	1.88	63391.31	175695.3	37928.05	17.79	82.20

...Contribution des groupes d'exploitations au land sparing et land sharing (2)

➤ Suivant le critère de la *structure de production*

Table 10: Contribution of farm groups to the land sparing and land sharing according to the production structure criterion

	Group 1	Group 2	Total
Average share of livestock production in the total production	Majority (64.88 %)	Minority (17.79%)	
Land sparing			
Contribution of farm groups to the reduction of agricultural land in %	10.66	14.73	25.39
Land sharing			
Option 1			
Contribution of farm groups to the reduction of variable inputs in %	16.62	9.59	26.21
Option 2			
Contribution of farm groups to the reduction of variable inputs while increasing outputs in %	8.20	5.10	13.31