

Comparaison des résultats issus des modèles

CASSIS_N et NOPOLU pour l'année 2010

(Échelle cantonale)

Notes de travail

POISVERT Cécile, CURIE Florence

Université de Tours - UFR Sciences et Techniques

Version du 06/11/2017

Sommaire

I. Contexte et enjeux.....	4
II. Méthode de comparaison entre NOPOLU et CASSIS_N.....	5
II . 1 . Principe de la comparaison.....	5
II . 2 . Eléments de comparaison méthodologique entre les deux modèles.....	8
III. Résultats.....	10
III . 1 . Différences postes à poste entre CASSIS_N et NOPOLU à l'échelle cantonale.....	10
III . 1 . a . Fertilisation organique.....	10
III . 1 . b . Export d'azote.....	15
III . 1 . c . Fixation symbiotique.....	21
III . 1 . d . Fertilisation minérale.....	24
III . 1 . e . Dépôt atmosphérique.....	27
III . 2 . Différences entre les valeurs cantonales du surplus azoté.....	30
III . 2 . a . Influence des différences entre les postes sur la valeur du surplus.....	30
III . 2 . b . Répartition des différences entre les surplus azotés calculés par CASSIS_N et NOPOLU.....	30
IV. Conclusion.....	34
V. Bibliographie.....	35
VI. Annexes.....	36
VI . 1 . Liste des cultures utilisées pour le calcul de la SAU selon NOPOLU.....	36
VI . 2 . Comparaison poste à poste par département.....	37

Remerciements

Les auteurs souhaitent remercier M. Le Gall (développeur du modèle NOPOLU) pour les échanges portant sur le calcul du modèle NOPOLU ainsi que pour l'envoi de données entrant dans ce modèle. Les auteurs souhaitent aussi remercier Mme Gascuel-Odoux et M. Dupas (INRA Rennes) pour leur relecture et leurs suggestions sur l'amélioration de ce rapport.

Liste des illustrations

Figure 1 : Balance azotée de surface du sol	5
Figure 2 : Répartition des différences entre les valeurs de SAU cantonale utilisées par NOPOLU et CASSIS_N	7
Figure 3: Répartition spatiale des différences absolues entre les valeurs de SAU cantonales (ha) utilisées par NOPOLU et CASSIS_N	7
Figure 4 : Répartition des taux de variation entre CASSIS_N et NOPOLU pour la fertilisation organique.....	10
Figure 5 : Répartition spatiale des différences exprimées en valeur relative (%) pour les valeurs de fertilisation organique calculées par CASSIS_N et NOPOLU (à l'échelle cantonale).....	11
Figure 6 : Répartition spatiale des différences exprimées en valeur absolue (kgN/ha SAU) pour les valeurs de fertilisation organique calculées par CASSIS_N et NOPOLU (à l'échelle cantonale)	12
Figure 7 : Répartition des taux de variation entre CASSIS_N et NOPOLU pour l'export d'azote.....	16
Figure 8 : Répartition spatiale des différences exprimées en valeur relative (%) pour les valeurs d'export d'azote calculées par CASSIS_N et NOPOLU (à l'échelle cantonale).....	17
Figure 9 : Répartition spatiale des différences exprimées en valeur absolue (kgN/ha SAU) pour les valeurs d'export d'azote calculées par CASSIS_N et NOPOLU (à l'échelle cantonale)	18
Figure 10 : Répartition des taux de variation entre CASSIS_N et NOPOLU pour la fixation symbiotique	21
Figure 11 : Répartition spatiale des différences exprimées en valeur relative (%) pour les valeurs de fixation symbiotique calculées par CASSIS_N et NOPOLU (à l'échelle cantonale).....	22
Figure 12 : Répartition spatiale des différences exprimées en valeur absolue (kgN/ha SAU) pour les valeurs de fixation symbiotique calculées par CASSIS_N et NOPOLU (à l'échelle cantonale).....	23
Figure 13 : Répartition des taux de variation entre CASSIS_N et NOPOLU pour la fertilisation minérale.....	24
Figure 14 : Répartition spatiale des différences exprimées en valeur relative (%) pour les valeurs de la fertilisation minérale calculées par CASSIS_N et NOPOLU (à l'échelle cantonale).....	25
Figure 15 : Répartition spatiale des différences exprimées en valeur absolue (kgN/ha SAU) pour les valeurs de fertilisation minérale calculées par CASSIS_N et NOPOLU (à l'échelle cantonale)	26
Figure 16 : Répartition des taux de variation entre CASSIS_N et NOPOLU pour le dépôt atmosphérique	27
Figure 17 : Répartition spatiale des différences exprimées en valeur relative (%) pour les valeurs de dépôt atmosphérique calculées par CASSIS_N et NOPOLU (à l'échelle cantonale).....	28
Figure 18 : Répartition spatiale des différences exprimées en valeur absolue (kgN/ha SAU) pour les valeurs de dépôt atmosphérique calculées par CASSIS_N et NOPOLU (à l'échelle cantonale)	29
Figure 19 : Valeur des postes de la balance azotée de surface du sol et du surplus azoté pour deux communes de l'Ariège (09).....	30
Figure 20 : Répartition des taux de variation entre CASSIS_N et NOPOLU pour les valeurs de surplus azoté	31
Figure 21 : Répartition spatiale des différences exprimées en valeur relative (%) pour les valeurs de surplus azoté calculées par CASSIS_N et NOPOLU (à l'échelle cantonale).....	32
Figure 22 : Répartition spatiale des différences exprimées en valeur absolue (kgN/ha SAU) pour les valeurs de surplus azoté calculées par CASSIS_N et NOPOLU (à l'échelle cantonale).....	33
Figure 23 : Valeurs cantonales de surplus pour l'année 2010 (kgN) calculées d'après CASSIS_N et NOPOLU.....	34
Tableau 1 : Comparaison des données utilisées dans NOPOLU 2010 et CASSIS_N 2010 (échelle communale).....	8
Tableau 2 : Répartition des différences en valeur absolue pour la fertilisation organique.....	10
Tableau 4 : Répartition des différences en valeur absolue pour l'export d'azote.....	16
Tableau 5 : Teneur en azote des végétaux récoltés pour les modèles CASSIS_N et NOPOLU	19
Tableau 6 : Répartition des différences en valeur absolue pour la fixation symbiotique.....	21
Tableau 7 : Répartition des différences en valeur absolue pour la fertilisation minérale.....	24
Tableau 8 : Répartition des différences en valeur absolue pour le dépôt atmosphérique.....	27

Tableau 9 : Répartition des différences en valeur absolue pour le surplus azoté.....	31
Tableau 10 : tableau récapitulatif des différences pour les postes de la balance azotée calculés d'après CASSIS_N et NOPOLU	34

I. Contexte et enjeux

Un des objectifs du projet "Evolution des surplus azotés (1960 à 2015), déploiement national, étude des temps de transfert et impact du changement des pratiques agricoles" est de fournir des chroniques de surplus azotés à l'échelle de masses d'eau. Au début de ce projet, le modèle de calcul des surplus azotés faisant référence en France était le modèle NOPOLU. Ce modèle fournit des données de surplus azotés à échelle relativement fine (échelle cantonale par exemple), mais les résultats de ce modèle ne sont disponibles que pour deux années : 2007 et 2010 (SOeS, 2012, SOeS, 2013). A l'occasion de ce projet, un nouveau modèle de calcul de surplus azoté, permettant la construction de chroniques de surplus, a été mis en place : le modèle CASSIS_N.

Une première étape du projet a été de constituer des chroniques de données agricoles homogènes à l'échelle des départements français. Ces chroniques ont été utilisées dans le modèle CASSIS_N, ce qui a permis de calculer des surplus azotés à l'échelle départementale pour l'ensemble du territoire métropolitain pour la période 1960 à 2015. L'échelle départementale étant une échelle trop large pour fournir des résultats robustes à l'échelle des masses d'eau, une étape de désagrégation a été mise en place dans le but d'obtenir des résultats à l'échelle communale. Les résultats de CASSIS_N ont ensuite été ré-agrégés à l'échelle cantonale dans le but de comparer les résultats issus des modèles CASSIS_N et NOPOLU à cette l'échelle pour l'année 2010.

Après avoir rappelé les principes de calcul et les données utilisées dans le calcul des différents postes pour les deux modèles, les différences cantonales poste à poste seront détaillées.

II. Méthode de comparaison entre NOPOLU et CASSIS_N

II. 1 . Principe de la comparaison

Les deux modèles reposent sur le principe de la balance azotée de surface du sol qui permet le calcul d'un surplus azoté défini comme le solde entre entrées et sorties d'azote (Figure 1). Les postes (fertilisation organique, fertilisation minérale, fixation symbiotique, dépôt atmosphérique, export d'azote) devant être estimés pour le calcul du surplus azoté sont les mêmes pour les deux modèles.

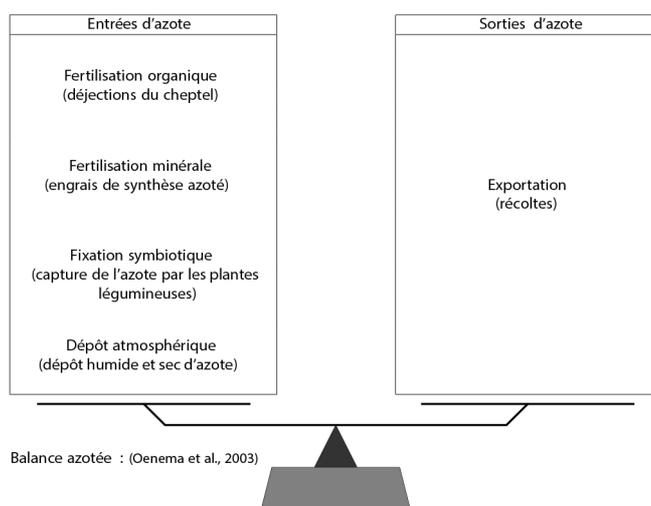


Figure 1 : Balance azotée de surface du sol

Une comparaison poste à poste peut donc être effectuée entre les deux modèles. Les différences seront présentées en valeurs relatives et absolues.

La différence relative (D_R en %) entre les valeurs des deux modèles pour un canton sera exprimée sous la forme d'un taux de variation relatif calculé tel que :

$$D_R = \frac{C - N}{N} * 100 \quad \text{Eq. 1}$$

avec C la valeur cantonale calculée d'après CASSIS_N et N la valeur cantonale calculée d'après NOPOLU. Les taux de variation relatifs sont calculés pour les 3708 cantons français (limites cantonales de 2011 selon l'IGN) pour lesquels les valeurs de NOPOLU ne sont pas nulles.

Les différences aussi seront présentées en en valeurs absolues (D_A) exprimées en kgN/ha de SAU (Surface Agricole Utile).

$$D_A = \frac{C}{SAU_C} - \frac{N}{SAU_N} \quad \text{Eq. 2}$$

avec C la valeur cantonale calculée d'après CASSIS_N et N la valeur cantonale calculée d'après NOPOLU.

La source de la donnée de la SAU utilisée dans les deux modèles est différente, la valeur de SAU n'est donc pas la même dans les deux modèles. La SAU du modèle NOPOLU (SAU_N) est calculée comme étant la somme des différentes cultures prises en compte dans ce modèle (cf. liste des cultures prises en compte VI. 1.) alors que CASSIS_N utilise la valeur de SAU fournie dans la base de données du RA 2010 (SAU_C). NOPOLU intègre la surface en bois et forêt dans le calcul de la SAU (SOeS, 2013) ce que ne comprend pas la valeur de la SAU utilisée dans CASSIS_N. Dans le cas où les valeurs de surface de bois et forêt ne sont pas nulles, les valeurs de SAU de NOPOLU seront donc plus fortes que celles de CASSIS_N. D'autre part, les cultures soumises au secret statistique ne participent pas au calcul de la SAU de NOPOLU (Tableau 1). Dans ce cas, la surface de la SAU retenue par NOPOLU pourra être inférieure à celle employée par CASSIS_N. Cependant, même si il n'y a pas de surface en bois et forêt et qu'aucune culture n'est soumise au secret statistique, il peut y avoir une différence entre la SAU et la somme des superficies liées à la somme de petites erreurs sur chaque culture. Les indications aux enquêteurs effectuant le RA indiquent ainsi que le questionnaire mené à l'échelle de l'exploitation est jugé bon si la différence entre la somme des cultures et la SAU totale indiquée dans le questionnaire est inférieure à 0.5% et à 1 hectare.

La diffusion des valeurs de surface de la SAU issues du RA (SAU_C) pouvant être sous le secret statistique, les différences pour certains cantons ne pourront être montrées sous la forme d'une différence absolue faisant intervenir le calcul de cette SAU (587 cantons).

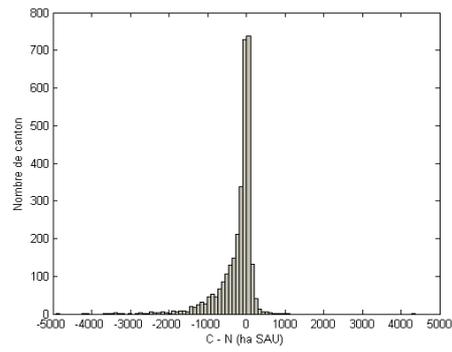


Figure 2 : Répartition des différences entre les valeurs de SAU cantonale (ha) utilisées par NOPOLU et CASSIS_N

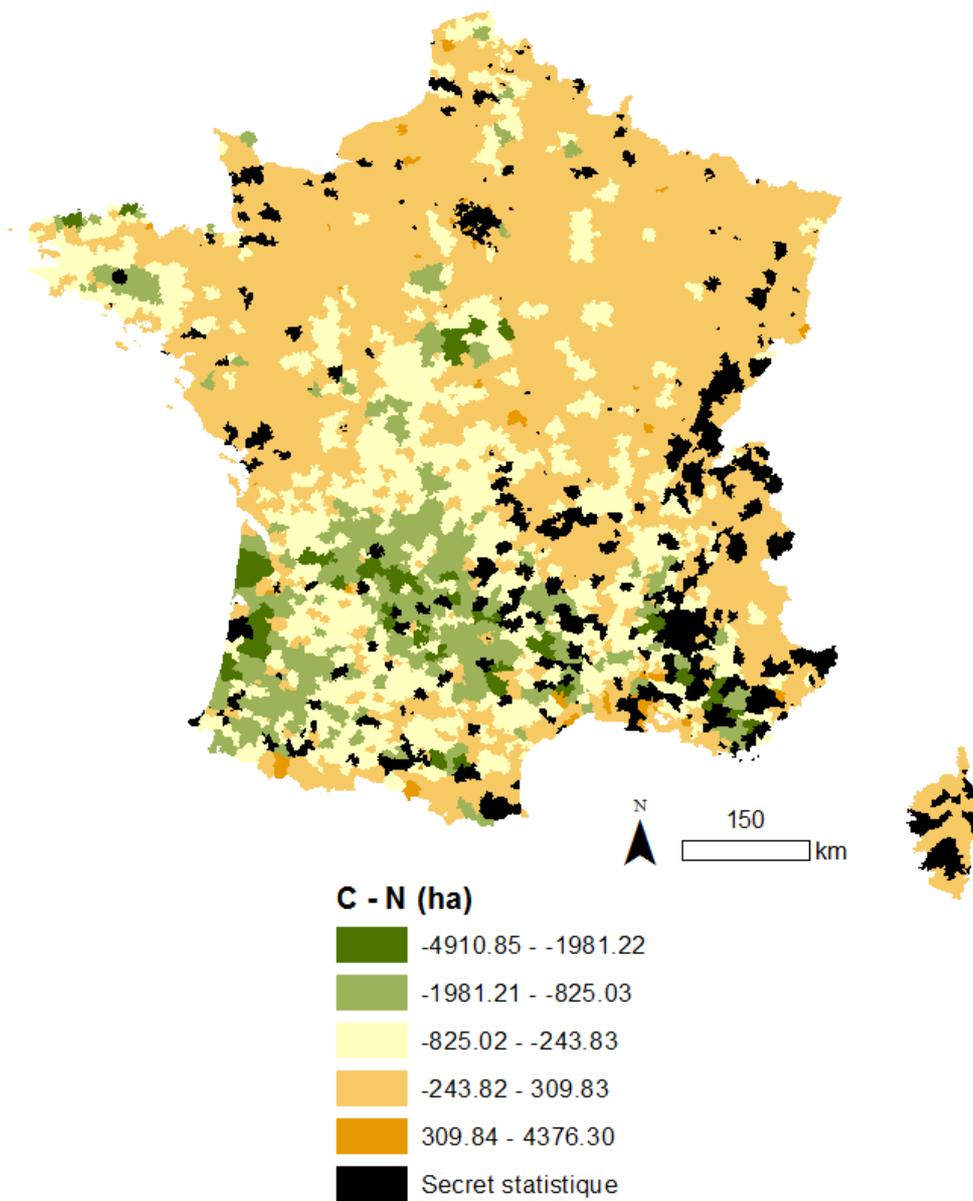


Figure 3: Répartition spatiale des différences absolues entre les valeurs de SAU cantonales (ha) utilisées par NOPOLU et CASSIS_N

Les différences de surface s'échelonnent de -4910,8 à 4376,3 hectares (ha) avec une moyenne d'environ -239.3 ha. La valeur de la SAU est plus forte pour NOPOLU que pour CASSIS_N dans environ 65% des cantons où la différence est calculable (3121 cantons)(Figure 2). Les valeurs de la SAU sont supérieures pour NOPOLU essentiellement dans le sud de la France (Figure 3).

II . 2 . Eléments de comparaison méthodologique entre les deux modèles

Tableau 1 : Comparaison des données utilisées dans NOPOLU 2010 et CASSIS_N 2010 (échelle communale)

Variables et Postes	NOPOLU 2010	CASSIS_N 2010
Echelle d'entrée : échelle des résultats bruts	Echelle cantonale Utilisation des unités CLC (Corine Land Cover) pour la spatialisation des résultats à l'échelle infra cantonale ⁴	Résultats communaux
Echelle de sortie : échelle de comparaison	Echelle cantonale	Echelle cantonale
Surfaces (hors surfaces collectives)	RGA2010 ¹ – extraction échelle cantonale (soumis au secret statistique)	
Surfaces collectives	RGA2010 ¹ – questionnaire surfaces collectives (prairies temporaires et permanentes) - extraction échelle cantonale (soumis au secret statistique)	RGA 2010 ¹ - extraction échelle communale (avec levée du secret statistique)
Cheptels	RGA2010 ¹ – extraction échelle cantonale (soumis au secret statistique)	
Rendements	SAA ² 2010	SAA ² 2010
Gestion des déjections (y compris pâturage) Adaptation de la fertilisation organique en fonction des pratiques agricoles	RGA2010 échelle cantonale Temps de pâturage régional (PMPOA, dans SOeS, 2013 ³) SAA, 2010 (rendement laitier) Temps de pâturage régional (PMPOA, dans SOeS, 2013 ³)	Intégrée aux incertitudes sur l'excrétion azotée du bétail et la perte d'azote vers l'atmosphère
Fertilisation minérale	Enquêtes PK 2011 et surfaces	Désagrégation de la donnée de livraison d'engrais minéraux azoté (UNIFA)
Coefficient de fixation symbiotique	70% N export	Anglade <i>et al.</i> , 2015
Déposition atmosphérique	EMEP 2010	moyenne EMEP (années 1980, 1985, 1993, 2000, 2003 à 2010)
Incertitudes	x	Tirage de Monte Carlo
Transferts d'N entre départements	x	x
Variation de l'excrétion azotée	Temps de pâturage régional (PMPOA, dans SOeS, 2013 ³) Production laitière départementale (SAA ² 2006)	Intégrée aux incertitudes sur l'excrétion azotée du bétail

¹ RGA 2010 : recensement général agricole de 2010

² SAA : Statistique Agricole Annuelle

³ La source de ces données n'est pas indiquée dans le document de référence de NOPOLU 2010 (SOes, 2013 p.58), mais un précédent rapport méthodologique (Solagro, 2009) fait mention de l'origine de cette variable qui indiquée dans ce tableau.

⁴ Non utilisée pour le calcul des valeurs à l'échelle cantonale, cette méthode est utilisée pour le calcul des balances azotées sur des surfaces ayant des limites différentes de celles du canton (limites communales, limites de bassins versants...).

Les données utilisées dans les deux modèles sont différentes (Tableau 1), hormis pour les rendements. En particulier, les données de surfaces et de nombre de tête de bétail sont issues de la même source (RGA 2010) mais fournies à deux échelles différentes (échelle cantonale pour NOPOLU, communale pour CASSIS_N). D'autre part, les données cantonales utilisées par NOPOLU sont entachées du secret statistique, alors que CASSIS_N utilise des données exemptes du secret statistique. La présence du secret statistique pourrait impacter l'estimation des postes concernés par l'utilisation de ces données (fertilisation organique, export d'azote).

Les résultats cantonaux issus de NOPOLU ont été fournis par l'INRA de Rennes et par M. Le Gall (concepteur et développeur du modèle NOPOLU). Certaines données d'entrées ont pu être comparées grâce à la mise à disposition par M. Le Gall de surface utilisées dans le modèle NOPOLU (SAU cantonale des exploitations, SAU cantonale collective, surfaces des différentes cultures). Ces surfaces sont des valeurs soumises au secret statistiques. Les résultats fournis par l'INRA de Rennes concernent le nombre de tête de bétail sans distinction de type, les valeurs des différents postes (en kgN).

N'ayant pas accès à la totalité des résultats (nombre de tête de bétail par type, par exemple), ni à la manière dont sont effectués les calculs, le présent rapport ne pourra constituer une comparaison exhaustive entre les deux modèles. Cependant, lorsque cela est possible, des pistes sont proposées pour expliquer les différences observées entre les résultats des deux modèles.

L'estimation des postes "export d'azote" et "fertilisation organique" repose sur l'utilisation de formules semblables et permettent des hypothèses quant aux différences observées.

L'estimation de la quantité d'azote fixée par les légumineuses (poste "fixation symbiotique") et la quantité d'azote minéral appliqué par canton (poste "fertilisation minérale") sont basés sur l'utilisation d'équations différentes. Le rapport se bornera alors à présenter les différences entre les valeurs des postes.

III. Résultats

III. 1. Différences postes à poste entre CASSIS_N et NOPOLU à l'échelle cantonale

III. 1. a. Fertilisation organique

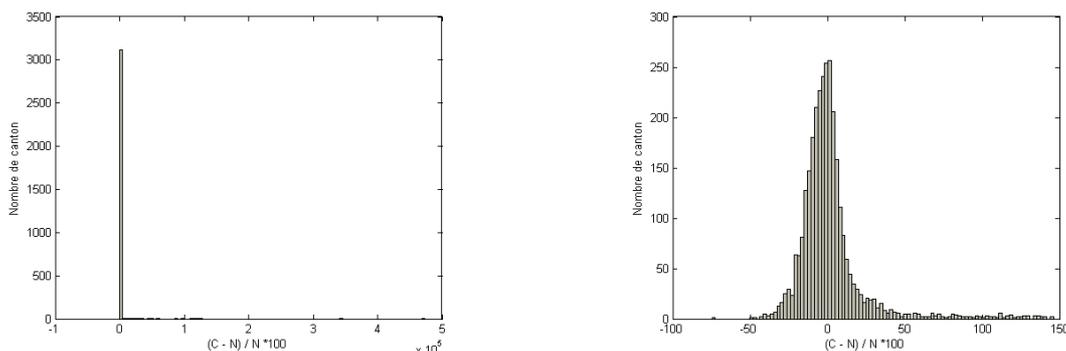


Figure 4 : Répartition des taux de variation entre CASSIS_N et NOPOLU pour la fertilisation organique

(à gauche l'ensemble des valeurs, à droite un zoom sur les variations comprises entre -75 et 146% soit 95% des cantons où la variation entre la valeur issues des deux modèles a pu être calculée)

Tableau 2 : Répartition des différences en valeur absolue pour la fertilisation organique

Quantile		2.5	25.0	50.0	75.0	97.5
Poste	Fertilisation organique (kgN/ha SAU)	-20.6	-2.3	0.4	2.4	26.6

Le taux de variation entre les valeurs de fertilisation organique calculées par CASSIS_N et NOPOLU n'a pas pu être calculé pour 563 cantons (sur 3708 cantons au total), NOPOLU y estimant une valeur de fertilisation organique nulle. Pour les cantons restant, la variation pour la fertilisation organique s'échelonne alors de -75 à plus de $4.7 \cdot 10^5$ % (Figure 4). Dans **53% des cantons, la fertilisation organique calculée par CASSIS_N est inférieure à celle calculée par NOPOLU**. Les différences en valeur absolue sont comprises entre -105 et 170 kgN/ha SAU et 95 % des valeurs sont comprises entre -20.6 et 26.6 kgN/ha SAU (Tableau 2 et Figure 6).

La répartition des différences semble spatialement organisée. De façon générale, les valeurs calculées par CASSIS_N sont inférieures aux valeurs calculées par NOPOLU à l'ouest du pays alors qu'elles sont supérieures à l'est (Figure 5).

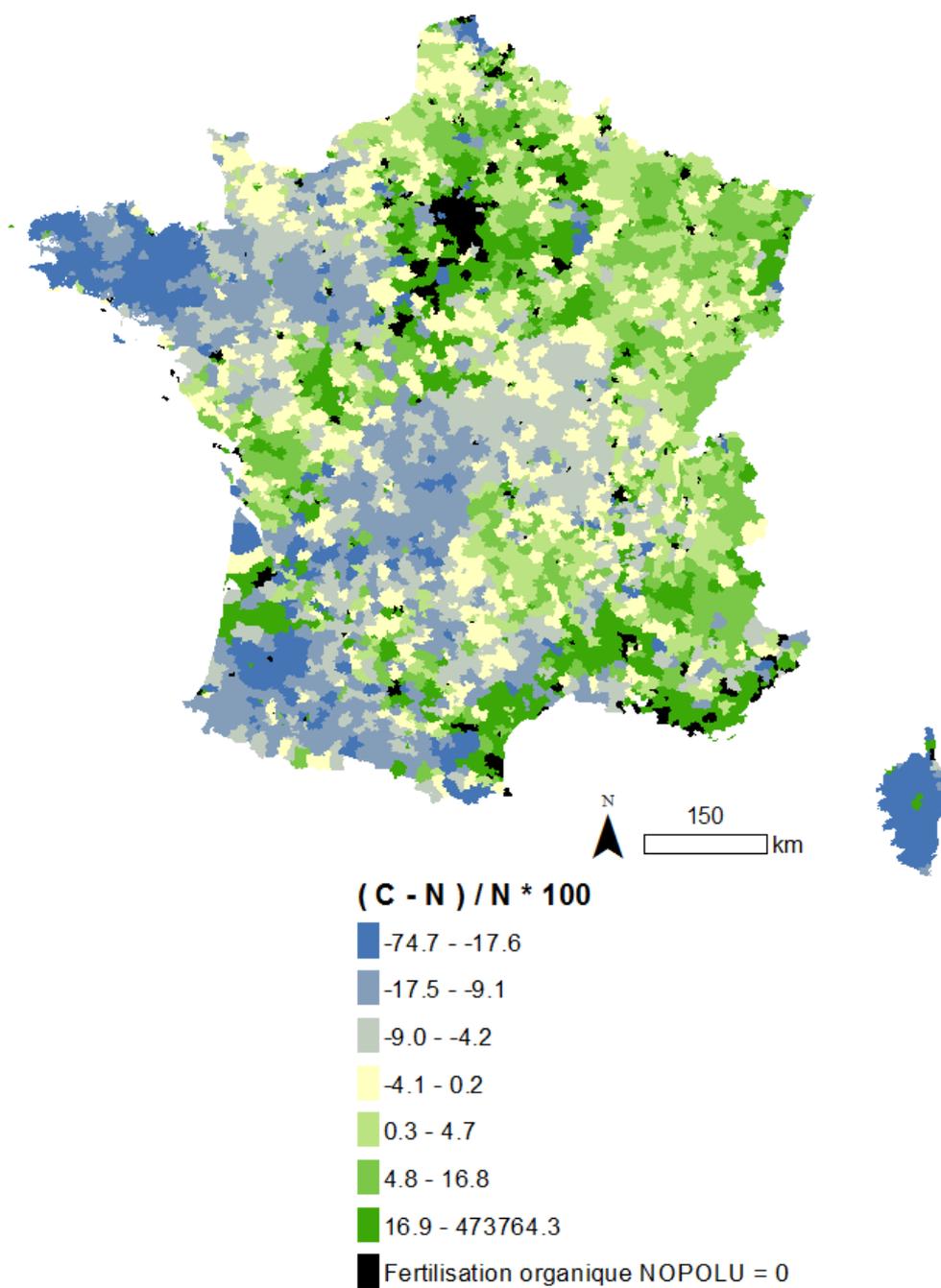


Figure 5 : Répartition spatiale des différences exprimées en valeur relative (%) pour les valeurs de fertilisation organique calculées par CASSIS_N et NOPOLU (à l'échelle cantonale)

Les valeurs obtenues par CASSIS_N sont notées C, celles obtenues par NOPOLU sont notées N.

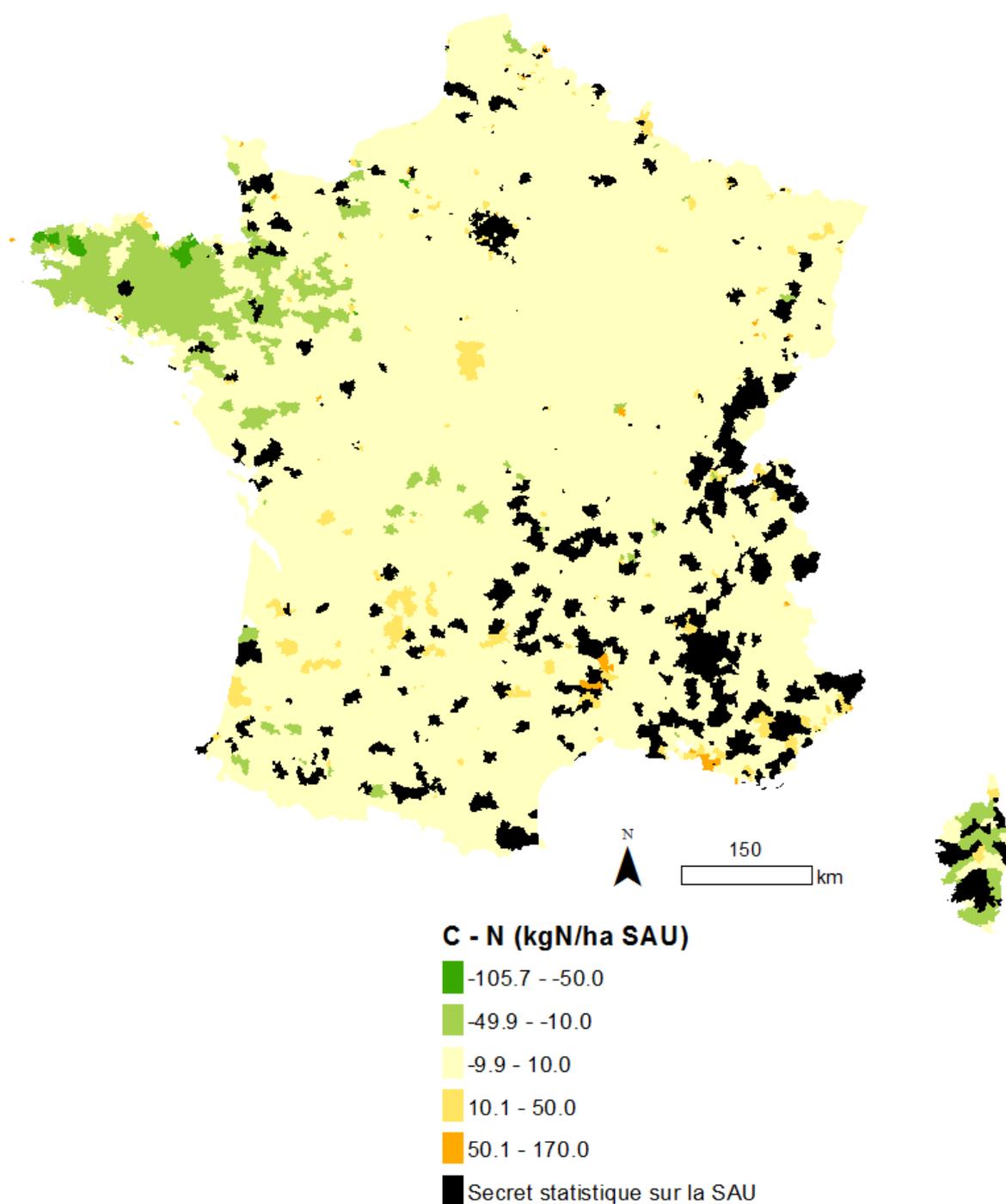


Figure 6 : Répartition spatiale des différences exprimées en valeur absolue (kgN/ha SAU) pour les valeurs de fertilisation organique calculées par CASSIS_N et NOPOLU (à l'échelle cantonale)

Les valeurs obtenues par CASSIS_N sont notées C, celles obtenues par NOPOLU sont notées N.

Les valeurs de fertilisation organique prises par CASSIS_N peuvent différer de celles calculées par NOPOLU pour plusieurs raisons :

- Les coefficients d'excrétion azotée employés par les deux modèles ne sont pas les mêmes (Tableau 3).

- Cas des bovins :

Les coefficients d'excrétion considérés dans NOPOLU varient régionalement pour refléter l'impact du temps de pâture des bovins. Plus le temps de pâture est important, plus l'excrétion azotée calculée par NOPOLU est importante pour les bovins. Les coefficients d'excrétion des vaches laitières vont aussi varier au niveau départemental afin de rendre compte de l'impact de la production laitière sur l'excrétion (+5% par tranche de 1000 litres).

Le modèle NOPOLU ne semble pas prendre en compte la distinction entre les vaches laitières et nourrices en cours d'exploitation ou réformées. Les vaches réformées laitières sont engraisées environ 60 jours (~2 mois) avant d'être abattues, les vaches allaitantes de réforme environ 100 jours (entre 3 et 4 mois)(CORPEN, 2001). Cette durée d'engraissement est prise en compte dans le calcul de l'excrétion pour CASSIS_N et ne semble pas prise en compte pour NOPOLU. Cette différence d'excrétion pourrait expliquer en partie les valeurs de fertilisation organique moins fortes estimées par CASSIS_N en Bretagne, région où l'élevage laitier et par conséquent le cheptel de vache de réforme est important (Figure 6).

- Cas des caprins et des ovins :

Les pratiques d'élevage fréquemment employées en 2010 font suivre plusieurs groupes d'animaux, appelés "bandes", au sein d'un même bâtiment d'élevage dans l'année. Afin de prendre compte le nombre d'animaux se succédant sur une même place d'élevage au cours d'une année culturale, un facteur "bande" est intégré au calcul de l'excrétion de NOPOLU. Les valeurs d'excrétion azotée sont alors renseignées en kgN/place et non en kgN/animal. Le rapport de NOPOLU (SOeS, 2013) donne les valeurs de certains coefficients d'excrétion azotée uniquement *par place d'élevage*. Ces valeurs d'excrétion ne sont ainsi pas comparables à celles utilisées par CASSIS_N qui estime l'excrétion azotée

à partir d'excrétion *par tête de bétail*. Cette différence d'estimation ne semble avoir d'impact que dans le cas des jeunes ovins et caprins, ainsi que pour les mâles des deux catégories.

- Cas des volailles :

Les valeurs d'excrétion retenues dans CASSIS_N intègrent l'ensemble des types de volailles produites possibles (label ou non, espèce, poids, mode de vie...) et un nombre de bande variable compris entre au minimum 1 bande par an et au maximum le nombre de bande indiqué dans CORPEN, 2006. Le modèle NOPOLU semble privilégier la sélection de certains coefficients correspondant aux catégories de volaille se rapprochant le plus, selon eux, des catégories détaillées dans le RGA.

- Les données du RGA utilisées par NOPOLU semblent être des données entachées du secret statistique. Ainsi, le nombre de tête de bétail pourrait être sous-estimé dans NOPOLU. Par exemple, NOPOLU indique un nombre de tête de bétail pour le canton d'Issoudun égal à 30. Par croisement avec les données cantonales du RGA téléchargeable sur DISAR (<https://stats.agriculture.gouv.fr/disar/>), il s'avère effectivement que ce canton compte 30 volailles mais aussi des bovins et des caprins dont le nombre est soumis au secret statistique. CASSIS_N intègre les données communales exemptes du secret statistique et prend bien en compte le cheptel bovin et caprin présent sur ce canton. Au final pour ce canton, la fertilisation organique calculée par CASSIS_N est 345344 % plus importante que celle calculée par NOPOLU et cela semble largement imputable à la prise en compte de la totalité du cheptel présent sur ce canton.

Tableau 3 : Valeurs d'excrétion azotée pour les différents types de bétail pour les modèles CASSIS_N et NOPOLU

Type de bétail	Catégories CASSIS_N	Excrétion CASSIS_N	Catégories NOPOLU	Excrétion NOPOLU
Vaches laitières		109.7	Vache laitière 6000l/an + veau	113
Vaches nourrices		79.5	Vache allaitante + veau (format 670 kg)	100
Bœufs (Animaux de travail de plus de 2 ans)		101.6		
Génisses laitières de renouvellement de plus de 2 ans		50.8	Femelles de plus de 2 ans	60
Génisses nourrices de renouvellement de plus de 2 ans		62.1		
Génisses de boucherie de plus de 2 ans		56.5		
Femelles de réforme 36 mois et plus	Vache de réforme abattues dans les 2 à 4 mois	24.2	Réforme lait ou réforme viande	113 ou 100 (suivant le type laitier ou nourrice)
Mâles de type laitier ou viande de plus de 2 ans		80.0	Engraissement > 2 ans	91
Génisses laitières de renouvellement de 1 à 2 ans		45.2	Femelles de 1 à 2 ans	52

Génisses nourrices de renouvellement de 1 à 2 ans	50.8		
Génisses de boucherie de 1 à 2 ans	48.0		
Mâles de type laitier ou viande de 1 à 2 ans	67.7	Engraissement 1 >> 2 ans	74
Veaux de boucherie	7.2	Veaux de boucherie	6
Autres femelles de moins de 1 an	23.2	Croissance lait < 1 an, Croissance viande < 1 an	20
Autres mâles de moins de 1 an	23.2	Engraissement < 1 an	12
Mâles reproducteur (mâles entre un et deux ans)	56.5		
Mâle reproducteur (mâles plus de deux ans)	101.6		
Jeunes porcs de 20 à 50 kg	0.59	Porcelets en post sevrage : animaux de moins de 20 kg	0.59
Truies de 50 kg et plus	22.5	Truies mères : regroupant les mères en production et les jeunes truies de 50 kg et plus (non saillies ou en première gestation)	22.38
Verrats et porcs à l'engrais de 50 kg et plus	4.2	Porcs à l'engraissement : animaux de plus de 20 kg, réformes et verrats	4.12
Chevrettes		Chevrettes pour la reproduction	7.02
Chevreaux de moins d'un an	Jeunes caprins 5.7	Autres caprins : regroupant les chevreaux et les boucs	2.6
Chèvres d'un an et plus		Chèvres mères : regroupe les mères et les réformes des troupeaux lait et viande	14.04
Caprins mâles d'un an et plus	14.3	Autres caprins : regroupant les chevreaux et les boucs	2.6
Ovins de moins de 1 an (Agneaux)	Jeunes ovins 5.7	Autres ovins : regroupant les agneaux et béliers	2.6
Ovins de moins de 1 an (Agnelles)		Agnelles pour la reproduction	7.02
Brebis-mères	14.3	Brebis mère : regroupant mères et réformes des troupeaux lait et viande	14.04
Bélier d'un an et plus	14.3	Autres ovins : regroupant les agneaux et béliers	2.6
Ovins adultes destinées boucherie	14.3	Brebis mère : regroupant mères et réformes des troupeaux lait et viande	14.04
Total équins	56.0	Chevaux de selle, chevaux lourds, ânes, bardots, mulets	57
Poules	Ensemble gallus 0.22	Poules	0.713
Poulettes		Poulettes	0.136
Poulets		Poulets	0.051
Canards	Ensemble des canards 0.48	Canards	0.296
Canards gavage		Canards gavage	0.118
Dindes et dindons	0.48	Dindes	0.143
Oies	0.97	Oies	0.408
Pintades	0.23	Pintades	0.087
Cailles	0.09	Cailles	0.025
Pigeons	0.83	Pigeons	0.148
Lapines mères	3.3	Lapins	0.97
Lapins produits	0.06		

valeurs en kgN excrété par place
valeurs moyennes établies à partir de moyennes établies au niveau national

III . 1 . b . Export d'azote

Les différences entre les valeurs d'export entre CASSIS_N et NOPOLU s'échelonnent de $-1.1 \cdot 10^{12}$ à près de $2.8 \cdot 10^4$ %.

Le taux de variation entre les valeurs de CASSIS_N et de NOPOLU n'a pas pu être calculé pour 324 cantons, où les valeurs d'export d'azote indiquées par NOPOLU sont nulles. Il peut s'agir de cantons urbains sans aucune agriculture mais aussi de cantons où le secret statistique empêche le calcul de l'export d'azote par NOPOLU (exemple du canton ayant le numéro INSEE 1443 où toutes les surfaces sont soumises au secret statistique).

La valeur la plus basse de la variation entre CASSIS_N et NOPOLU ($-1,1 \cdot 10^{12} \%$) est une valeur aberrante. En effet, l'export d'azote indiqué dans les résultats de NOPOLU sur ce canton des Yvelines est une valeur négative ($-3 \cdot 10^{-6} \text{ kgN}$).

Cette valeur aberrante écartée, les variations s'échelonnent de -89 à près 238 % (Figure 7), avec environ **86 % des cantons présentant un export d'azote plus faible pour CASSIS_N que pour NOPOLU**. Les différences en valeur absolue s'échelonnent de -120.8 à 125 kgN/ha SAU et 95% des différences sont comprises entre -36.4 et 20.4 kgN/ha SAU (Tableau 4).

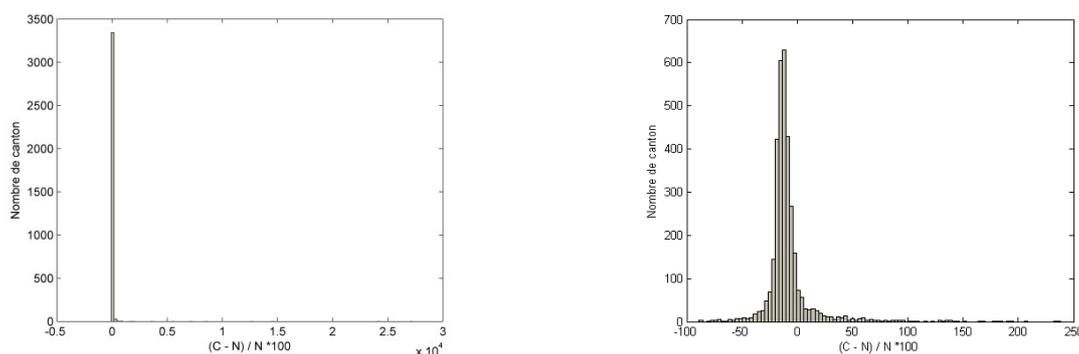


Figure 7 : Répartition des taux de variation entre CASSIS_N et NOPOLU pour l'export d'azote

(à gauche l'ensemble des valeurs hors valeur aberrante, à droite zoom les variations comprises entre -89 et 238% soit 99% des cantons)

Tableau 4 : Répartition des différences en valeur absolue pour l'export d'azote

Quantile		2.5	25	50	75	97.5
Poste	Export (kgN/ha SAU)	-36.4	-18.8	-12.0	-3.8	20.4

Les différences d'export d'azote présentent une organisation spatiale (Figure 8). Les modèles CASSIS_N et NOPOLU montrent des résultats sensiblement similaires au Nord Ouest du pays. De façon générale, l'export d'azote calculé par CASSIS_N est inférieur à celui calculé par NOPOLU dans les massifs montagneux et supérieur sur le pourtour méditerranéen.

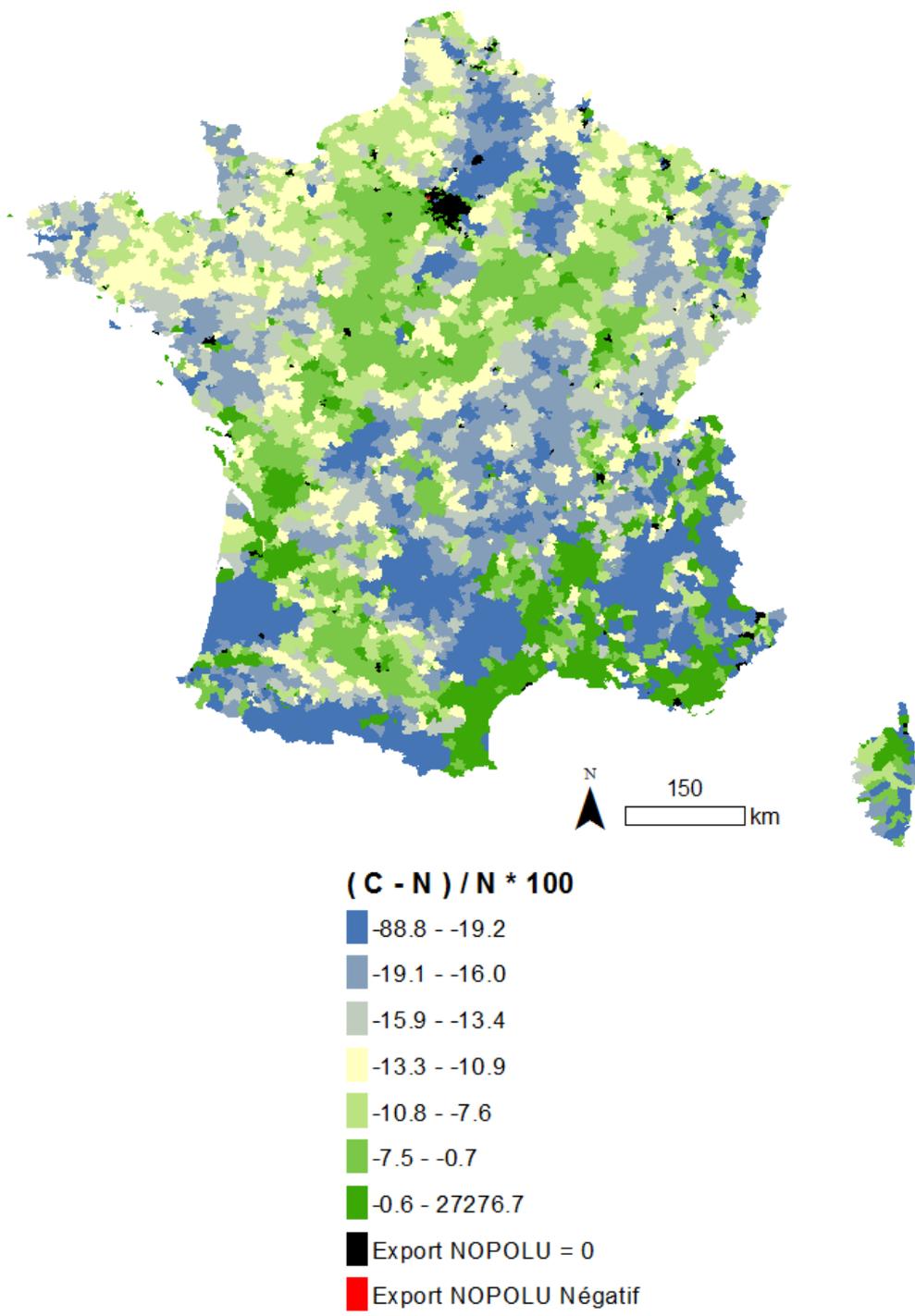


Figure 8 : Répartition spatiale des différences exprimées en valeur relative (%) pour les valeurs d'export d'azote calculées par CASSIS_N et NOPOLU (à l'échelle cantonale)

Les valeurs obtenues par CASSIS_N sont notées C, celles obtenues par NOPOLU sont notées N.

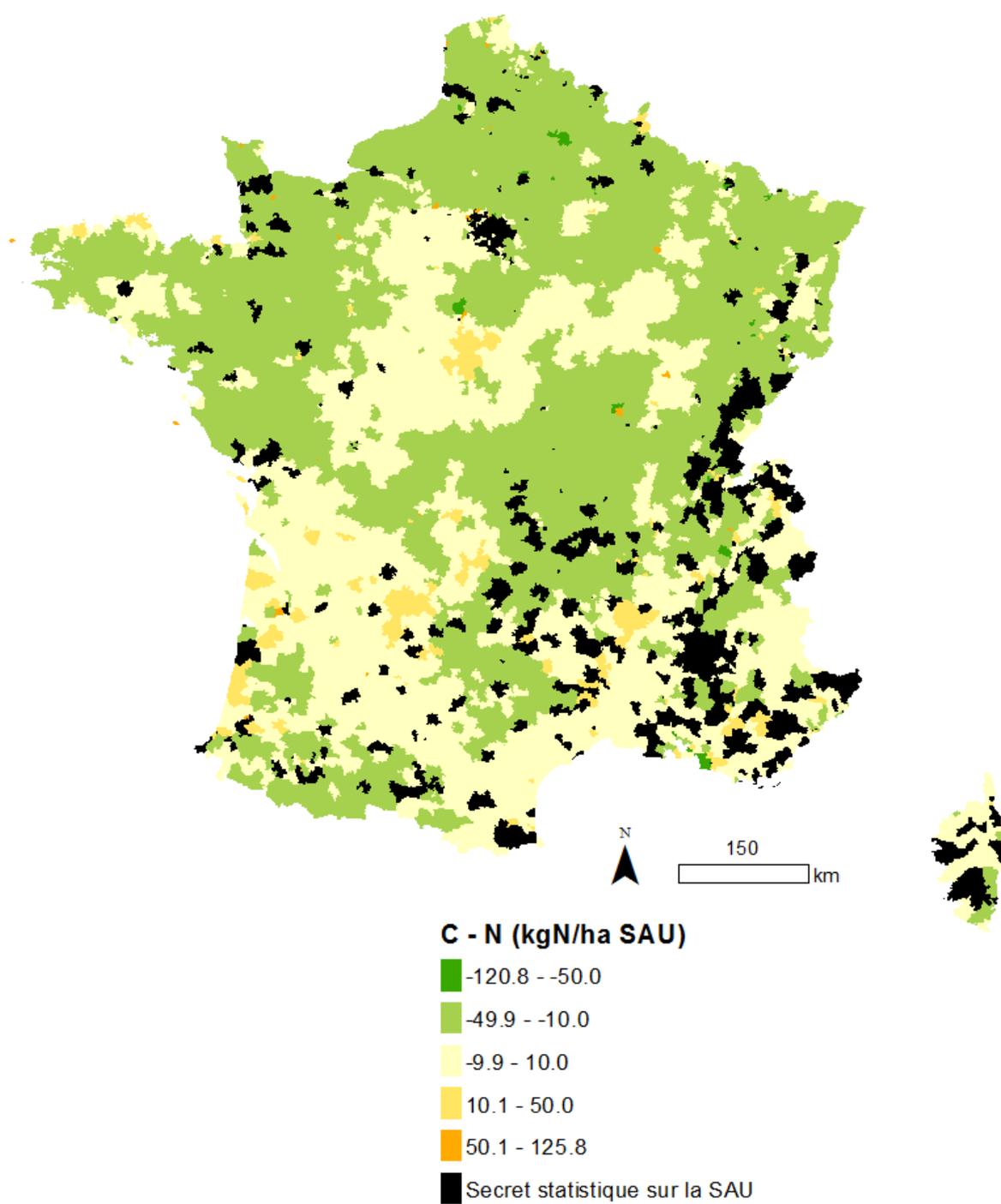


Figure 9 : Répartition spatiale des différences exprimées en valeur absolue (kgN/ha SAU) pour les valeurs d'export d'azote calculées par CASSIS_N et NOPOLU (à l'échelle cantonale)

Les valeurs obtenues par CASSIS_N sont notées C, celles obtenues par NOPOLU sont notées N.

Les variations entre les résultats d'export de CASSIS_N et NOPOLU peuvent aussi être dues aux facteurs suivants:

- L'influence du cheptel sur l'export d'azote par l'herbe : pour les deux modèles, la récolte d'herbe est liée au nombre et au type de bétail présent sur la surface considérée. Sur une surface considérée, plus le nombre d'herbivore est important plus le besoin et la récolte d'herbe augmente, dans la limite de la production d'herbe possible sur cette surface. Un nombre croissant d'herbivore va donc augmenter l'export d'azote. Hors, la partie précédente fait état de valeurs de cheptel différent entre les deux modèles, ce qui peut au final influencer l'export d'azote.
- Les coefficients d'export d'azote. En moyenne, les valeurs de teneur en azote des cultures retenues par NOPOLU sont plus importantes (2.4% pour les grandes cultures pour NOPOLU contre 2.2% pour CASSIS_N) (Tableau 1 Tableau 5). En particulier, NOPOLU a retenu une valeur de teneur en azote plus importante pour le blé tendre et pour les surfaces toujours en herbe, cultures majoritaires (13 et 37% de la SAU nationale respectivement) en France en 2010. Ces différences de teneur en azote tendraient vers un export d'azote plus important pour le modèle NOPOLU. Ces différences pourraient expliquer les valeurs moins importantes d'export d'azote pour les zones dominées par l'exploitation de l'herbe (zone d'élevage extensif: Massif Central, Pyrénées, Normandie) et les zones de grandes cultures où est produit le blé tendre (bassin parisien par exemple) (Figure 9).

Tableau 5 : Teneur en azote des végétaux récoltés pour les modèles CASSIS_N et NOPOLU

Types de culture	CASSIS_N	NOPOLU
Total blé tendre	1.8	1.9
Total blé dur	2.1	2.1
Seigle et méteil	1.8	1.4
Total orge et escourgeon	1.5	1.5
Total avoine	1.6	1.9
Maïs (grain et semence)	1.2	1.4
Triticale	1.9	1.9
Riz	1.2	1.4
Total Sorgho	1.4	2
Autres céréales non mélangées	1.9	1.9
Mélanges de céréales (hors méteil)	1.9	
Millet	1.9	
Total sarrasin	1.9	
Colza et navette	3.5	3.5
Tournesol	1.9	1.9
Soja	5.65	5.65
Lin oléagineux	3.6	3.5
Moutarde	3.5	
Œillette	3.5	
Autres oléagineux	3.5	
Pois protéagineux	3.1	3.25

Total pailles de céréales	0.7	x
Betteraves industrielles (sucre + alcool)	0.11	0.31
Fibre de Chanvre (pour papier ou textile)	1.35	1.35
Graine de chanvre (chènevis)	4	?
Lin textile (roui non battu)	0.56	1.35
Tabac (sec non fermenté)	4	4
Houblon en production	2.5	2.5
Chicorée à café (racines)	1.35	1.35
Pommes de terre	0.35	0.35
Maïs fourrage	1.15	1.25
Prairies temporaires	2.3	2.92
Trèfle	3.5	3.9
Lucerne	3.5	3.9
Sainfoin	2.4	3.9
Autres prairies artificielles	3.4	3.9
Surf tjrs en herbe	2.3	2.71
Plantes sarclées fourragères	0.25	0.24
Haricot sec	1.29	3.8
Lentille	1.14	
Pois et pois de casserie	1.36	
Ers et pois	1.09	

pois chiches	1.42	
Eèves vertes	0.82	
Fèves vertes	1.09	
Raisins	0.130	
Abricots	0.144	
Cerises	0.208	
Total pavies, pêches, nectarines et brugnons	0.184	
Prunes	0.122	
total olives	0.155	
Poires à cidre	0.062	
Pommes à cidre	0.050	
Poires de table	0.062	
Pommes de table	0.050	
Coings	0.059	
Nêfles	0.106	
Kakis	0.003	
Total amandes	4.896	
Châtaignes	0.451	
Noix	2.768	0.05
Noisettes	3.088	
Actinidia (Kiwi)	0.176	
Cassis	0.144	
Myrtilles et mures	0.156	
Framboises	0.224	
Groseilles	0.176	
Avocats	0.288	
Figues	0.208	
Angéliques	0.106	
Clémentines, mandarines	0.128	
Oranges	0.153	
Pamplemousses	0.128	
Citrons	0.128	
Cédrats	0.128	
Agrumes divers	0.133	
Artichauts	0.41	
Asperges	0.4	
Céleris branches	0.12	
Choux-fleurs	0.39	
Choux brocolis à jets	0.425	
Choux de Bruxelles	0.12	
Choux à choucroute	0.3312	
Choux autres	0.225	
Endives	0.1648	
Epinards	0.37	
Poireaux	0.33	
Laitues (romaines + pommées)	0.18	
Chicorées (frisées + scaroles)	0.33	
Cresson	0.256	
Mâche	0.45	0.4
Autres salades	0.112	
Bettes et cardes	0.3308	
Cardons	0.096	
Fenouil	0.18	
Rhubarbe	0.1213	
Pissenlits	0.456	
Persil	0.48	
Cerfeuil	0.528	
Estragon	0.4656	
Thym	0.9712	
Maïs doux	0.5088	
Champignons tout type	0.4944	
Fraises	0.12	

Aubergines	0.1328
Concombres	0.0994
Cornichons	0.1213
Courgettes	0.22
Melons	0.14
Pastèques	0.0948
Poivrons	0.144
piments	0.3312
Potirons, courges, citrouilles, giraumon	0.108
Tomates	0.128
Ail	1.264
Betteraves potagères	0.368
Carottes	0.12
Céleris raves	0.2
Echalotes	0.23
Navets potagers	0.1512
Oignons	0.2
Radis	0.1213
Salsifis et scorsonères	0.49
Radis noirs	0.448
Crosne	0.1216
Petit pois (grains)	0.98
Haricot à écosser+1/2-secs (grains)	1.5
Haricots verts(+beurre)	0.34

III . 1 . c . Fixation symbiotique

Les taux de variation de la fixation symbiotique s'échelonnent de $-3,1.10^{11}$ à $6.3 10^5\%$. Les taux de variation inférieurs à -94% correspondent à des valeurs de fixation négatives selon les valeurs relevées dans les tables de NOPOLU. Ces résultats aberrants sont écartés de la comparaison. Les taux de variation entre les valeurs indiquées par les deux modèles n'ont pu être calculés pour 421 cantons où la fixation symbiotique est estimée comme étant nulle par NOPOLU. Sur les 2853 cantons où la variation a été calculée, la valeur de fixation symbiotique calculée par **CASSIS_N est inférieure à la valeur calculée par NOPOLU dans seulement 3.4% des cas** (Figure 10). Les différences en valeurs absolues s'échelonnent de -27.6 à 162 kgN/ ha SAU avec 95% des valeurs comprises entre -0.8 et 15.9 kgN /ha SAU (Tableau 6).

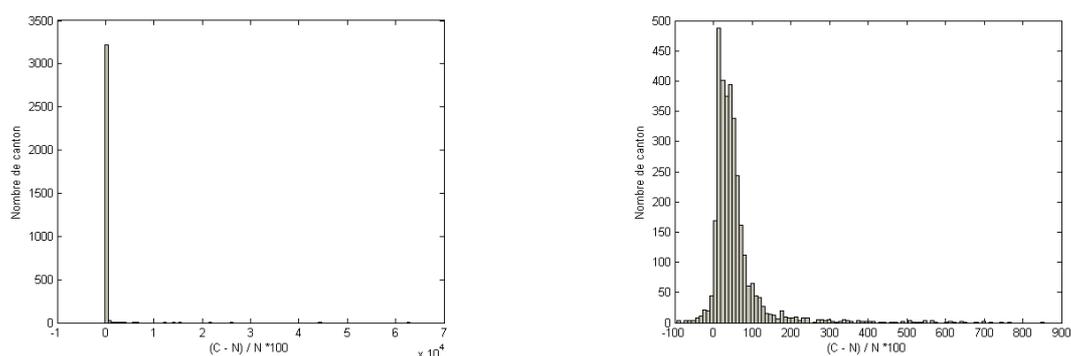


Figure 10 : Répartition des taux de variation entre CASSIS_N et NOPOLU pour la fixation symbiotique

(à gauche l'ensemble des valeurs hors valeur aberrante, à droite zoom les variations comprises entre -94 et 855% soit 99% des cantons où la valeur de fixation symbiotique estimée par NOPOLU est non nulle)

Tableau 6 : Répartition des différences en valeur absolue pour la fixation symbiotique

	Quantile	2.5	25.0	50.0	75.0	97.5
Poste Fixation symbiotique (kgN/ha SAU)		-0.8	2.6	4.5	7.3	15.9

La variation entre les valeurs de la quantité d'azote fixé par les légumineuses montre une organisation spatiale assez nette. La valeur de fixation symbiotique calculée par CASSIS_N est supérieure à celle de NOPOLU sur quasiment l'ensemble du territoire. L'écart entre les valeurs calculées par les deux modèles est moins important dans les zones de montagnes (Figure 11 et Figure 12). Malgré une

méthode d'estimation de la fixation différente par les deux modèles, les différences de valeur de fixation symbiotiques sont relativement faibles sur la majorité du territoire.

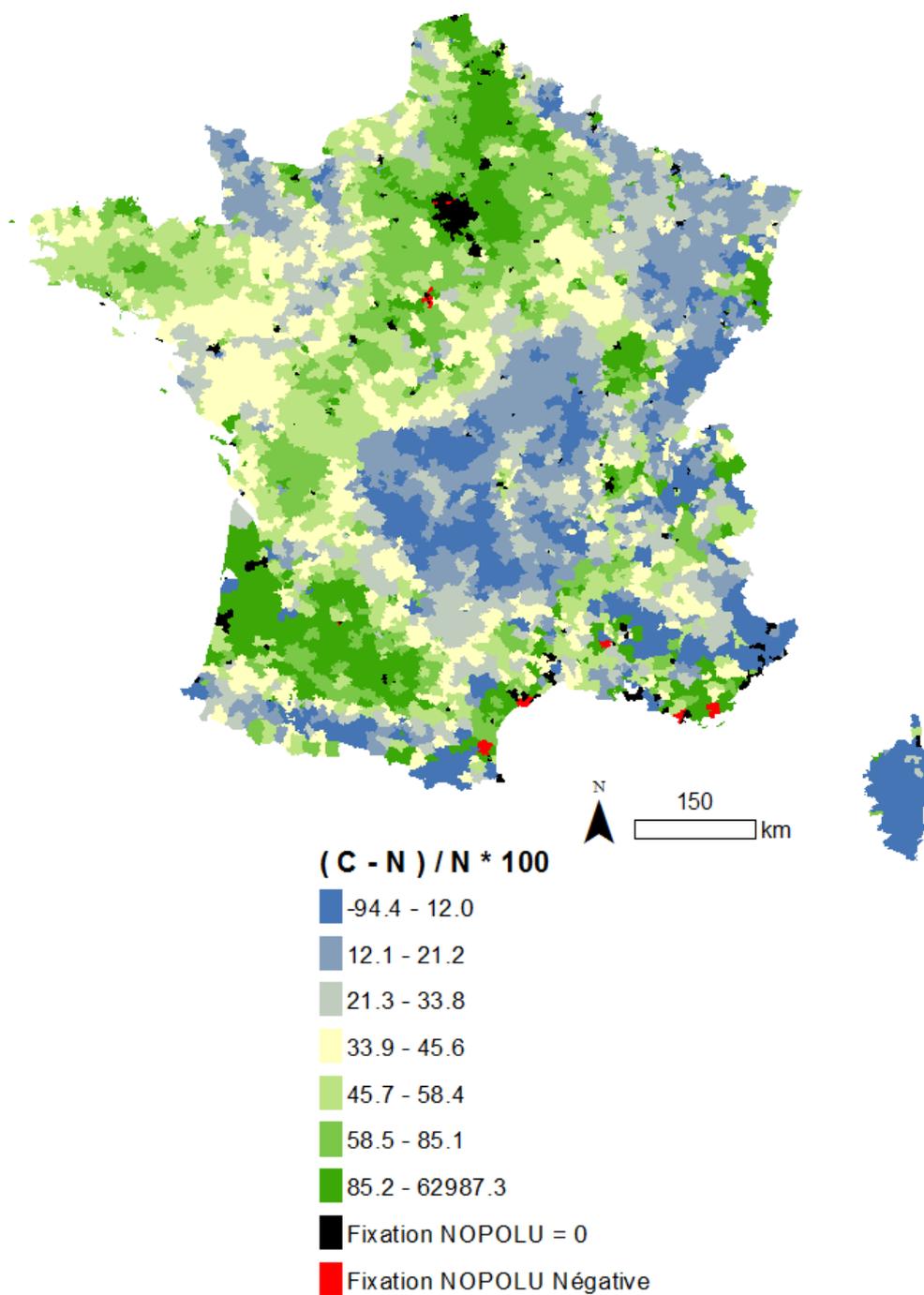


Figure 11 : Répartition spatiale des différences exprimées en valeur relative (%) pour les valeurs de fixation symbiotique calculées par CASSIS_N et NOPOLU (à l'échelle cantonale)

Les valeurs obtenues par CASSIS_N sont notées C, celles obtenues par NOPOLU sont notées N.

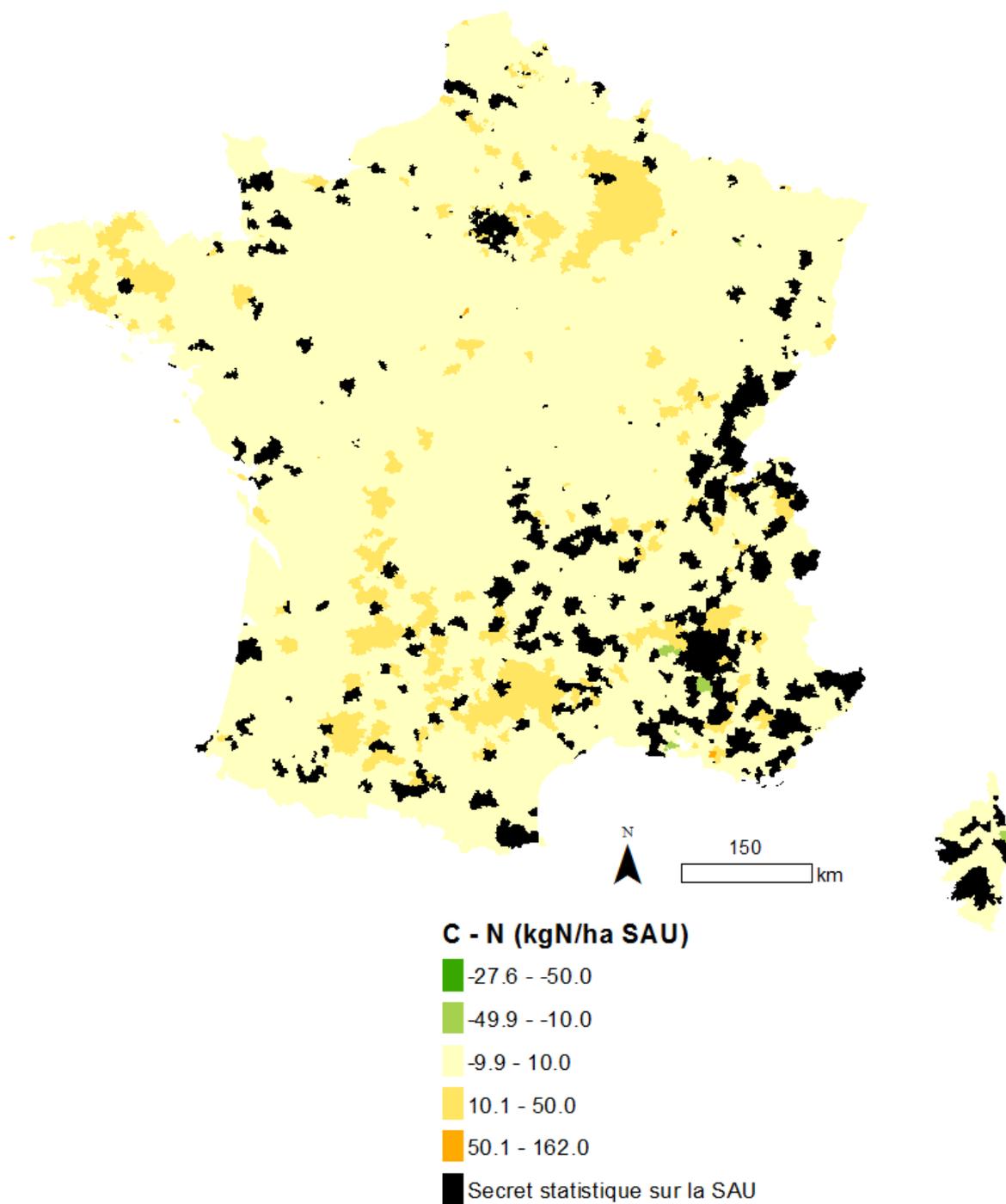


Figure 12 : Répartition spatiale des différences exprimées en valeur absolue (kgN/ha SAU) pour les valeurs de fixation symbiotique calculées par CASSIS_N et NOPOLU (à l'échelle cantonale)

Les valeurs obtenues par CASSIS_N sont notées C, celles obtenues par NOPOLU sont notées N.

III . 1 . d . Fertilisation minérale

Pour les 3376 cantons où la fertilisation minérale calculée par NOPOLU est différente de 0 et où la variation des valeurs de fertilisation minérale a pu être calculée, les différences entre CASSIS_N et NOPOLU vont de -98 à 6.10⁴%. La valeur de fertilisation minérale calculée par CASSIS_N est inférieure à celle de NOPOLU dans environ 51% des cantons (Figure 13 : Répartition des taux de variation entre CASSIS_N et NOPOLU pour la fertilisation minérale

). Les différences en valeur absolue s'échelonnent de -139.1 à 251 kgN / hau de SAU avec 95 % des valeurs comprises entre -62.6 et 85.9 kgN /ha SAU (Tableau 7).

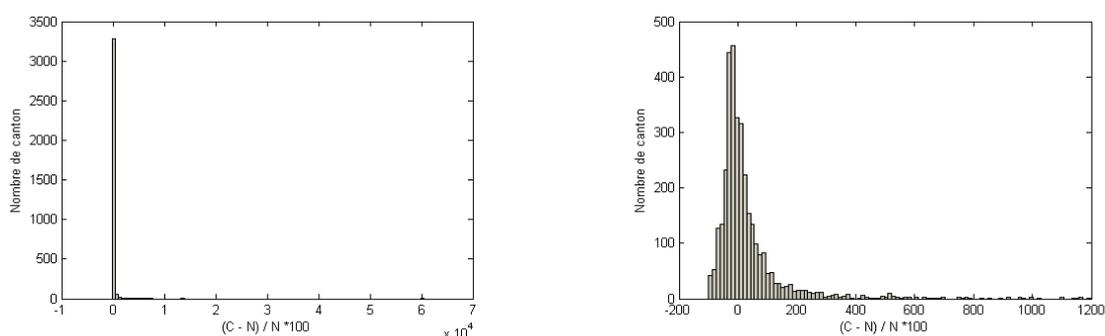


Figure 13 : Répartition des taux de variation entre CASSIS_N et NOPOLU pour la fertilisation minérale (à gauche l'ensemble des valeurs, à droite zoom les variations comprises entre -98 et 1197% soit 99% des cantons où la valeur de fertilisation minérale estimée par NOPOLU est non nulle)

Tableau 7 : Répartition des différences en valeur absolue pour la fertilisation minérale

Quantile	2.5	25.0	50.0	75.0	97.5
Poste Fertilisation minérale (kgN/ha SAU)	-62.6	-18.0	0.1	17.6	85.9

La répartition spatiale des variations entre les deux modèles (Figure 14 et Figure 15) traduit la différence d'estimation du poste de fertilisation minérale (Tableau 1). Les méthodes employées par les deux modèles pour estimer la fertilisation minérale sont connues pour avoir des biais. La méthode utilisée par CASSIS_N (utilisation des données de vente), ne prend pas en compte les perméabilités géographiques ni l'éventuelles constitution de stock d'engrais. D'autre part, la méthode employée par NOPOLU (utilisation des enquêtes pratiques culturales) ne renseigne pas sur toutes les cultures et peut

comporter des biais d'échantillonnage (l'ensemble des cultures de toutes les entités géographiques n'est pas enquêté).

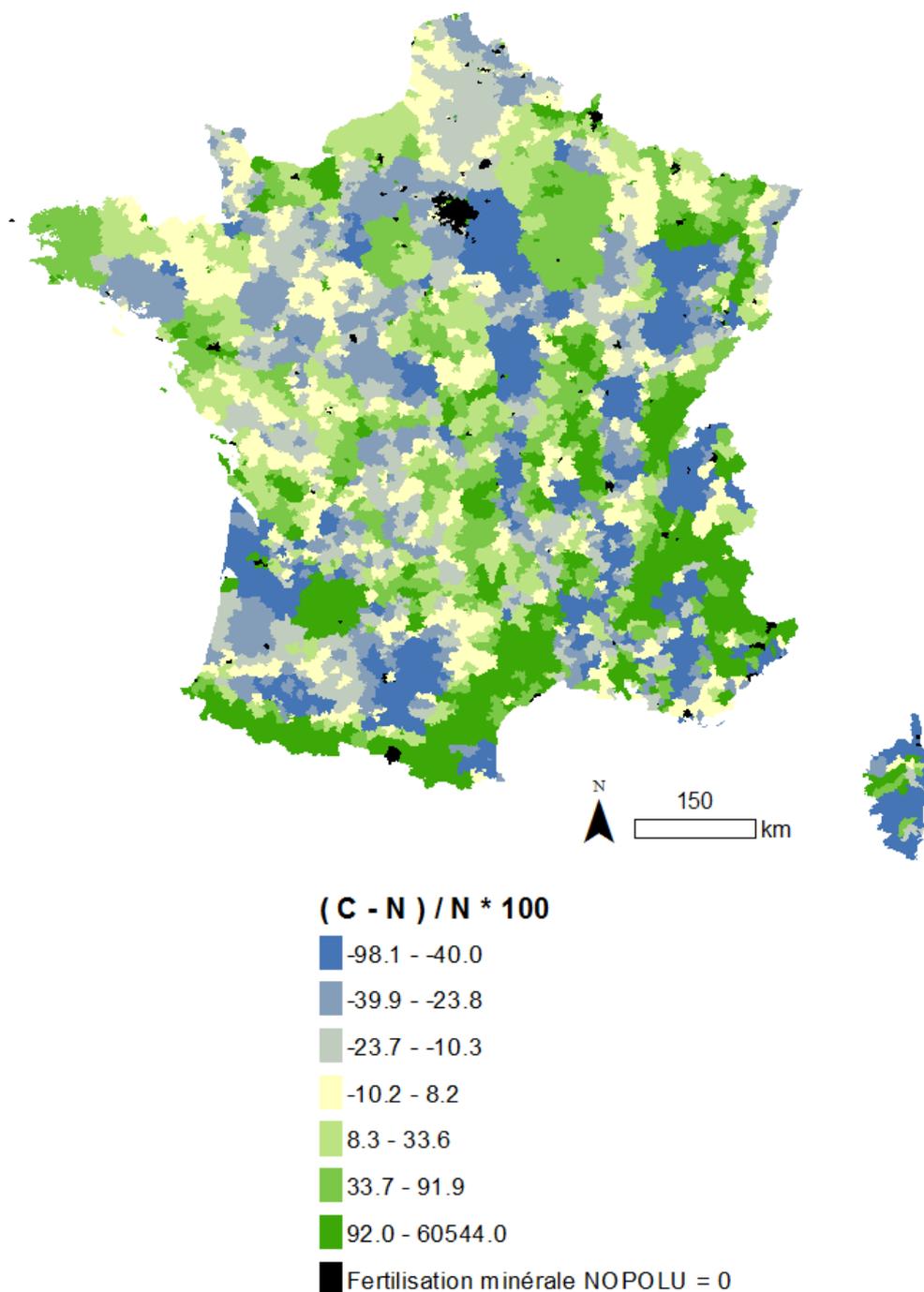


Figure 14 : Répartition spatiale des différences exprimées en valeur relative (%) pour les valeurs de la fertilisation minérale calculées par CASSIS_N et NOPOLU (à l'échelle cantonale)

Les valeurs obtenues par CASSIS_N sont notées C, celles obtenues par NOPOLU sont notées N.

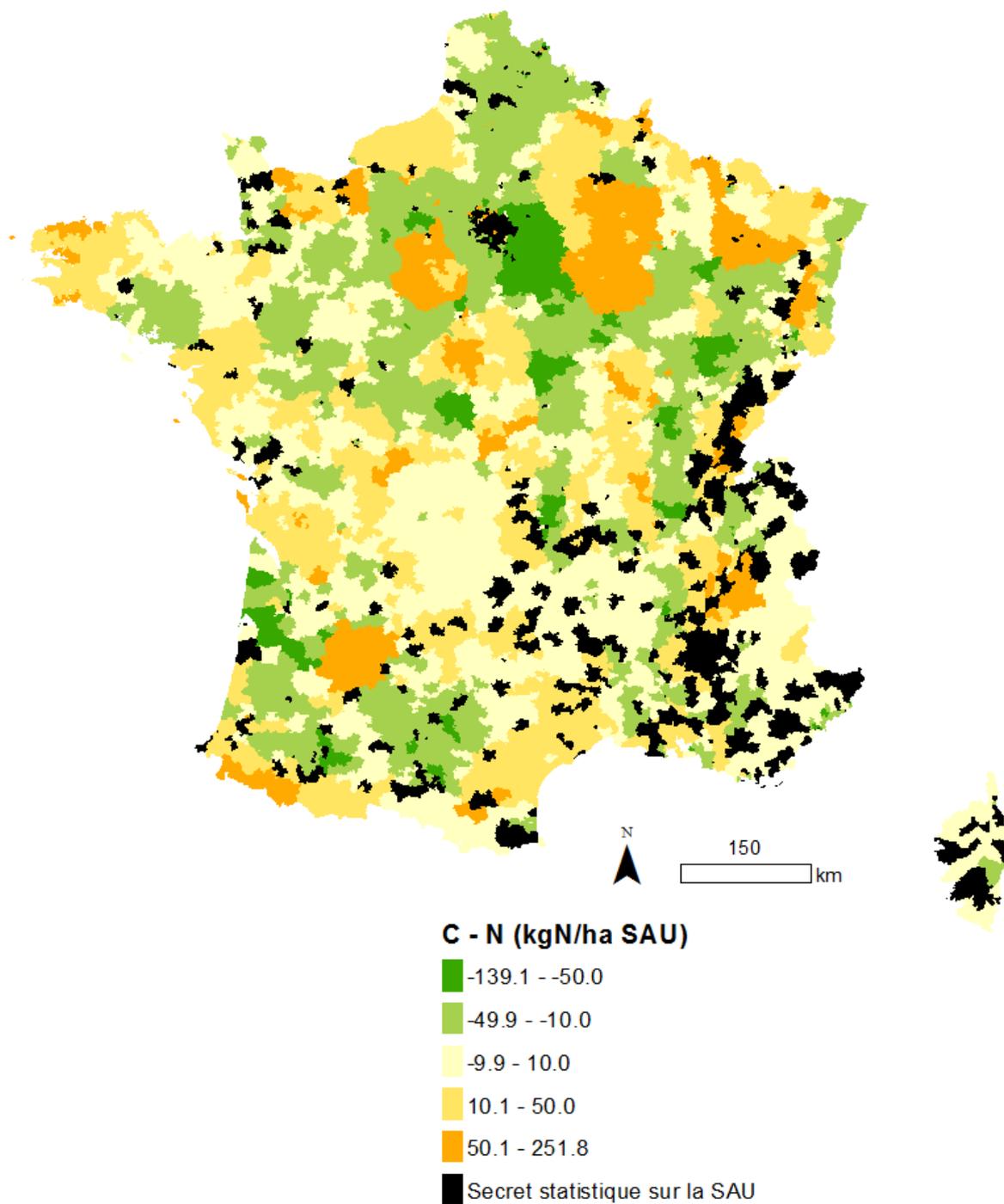


Figure 15 : Répartition spatiale des différences exprimées en valeur absolue (kgN/ha SAU) pour les valeurs de fertilisation minérale calculées par CASSIS_N et NOPOLU (à l'échelle cantonale)

Les valeurs obtenues par CASSIS_N sont notées C, celles obtenues par NOPOLU sont notées N.

III . 1 . e . Dépôt atmosphérique

Le dépôt atmosphérique relevé dans les résultats de NOPOLU est nul dans 300 cantons. Ces valeurs nulles correspondent à des cantons où la SAU est nulle (cantons urbains ou données soumises au secret statistique). Pour les autres cantons, le taux de variation pour les valeurs de dépôt atmosphérique entre CASSIS_N et NOPOLU s'échelonne de -90 à 2,8.10⁴%. La valeur du dépôt atmosphérique calculée par CASSIS_N est inférieure à celle calculée par NOPOLU pour environ 22% des cantons. Les différences en valeur absolue s'échelonnent de -3.8 à 10.8377 kgN/ha SAU avec 95% des valeurs comprises entre -0.9 et 4.3 kgN/ha SAU (Tableau 8). Les différences entre les valeurs des deux modèles sont dues à la façon dont est estimé ce poste : les valeurs utilisées par CASSIS_N sont des valeurs moyennes alors que NOPOLU utilise les valeurs relatives à l'année 2010 (Tableau 1).

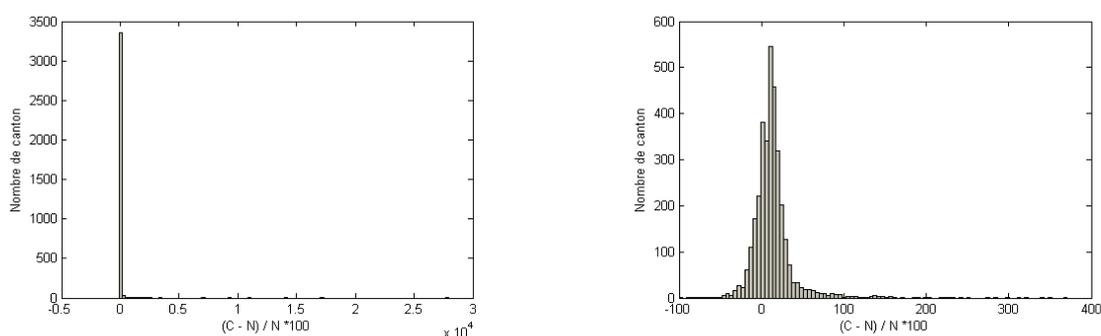


Figure 16 : Répartition des taux de variation entre CASSIS_N et NOPOLU pour le dépôt atmosphérique (à gauche l'ensemble des valeurs, à droite zoom les variations comprises entre -90 et 371% soit 99% des cantons où la valeur de dépôt atmosphérique estimée par NOPOLU est non nulle)

Tableau 8 : Répartition des différences en valeur absolue pour le dépôt atmosphérique

Quantile		2.5	25.0	50.0	75.0	97.5
Poste	Dépôt atmosphérique (kgN/ha SAU)	-0.9	0.7	1.4	2.1	4.3

Les valeurs de dépôt atmosphérique calculées par CASSIS_N sont généralement inférieures à celle calculées par NOPOLU au sud et supérieures au nord (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**Figure 17 et Figure 18**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

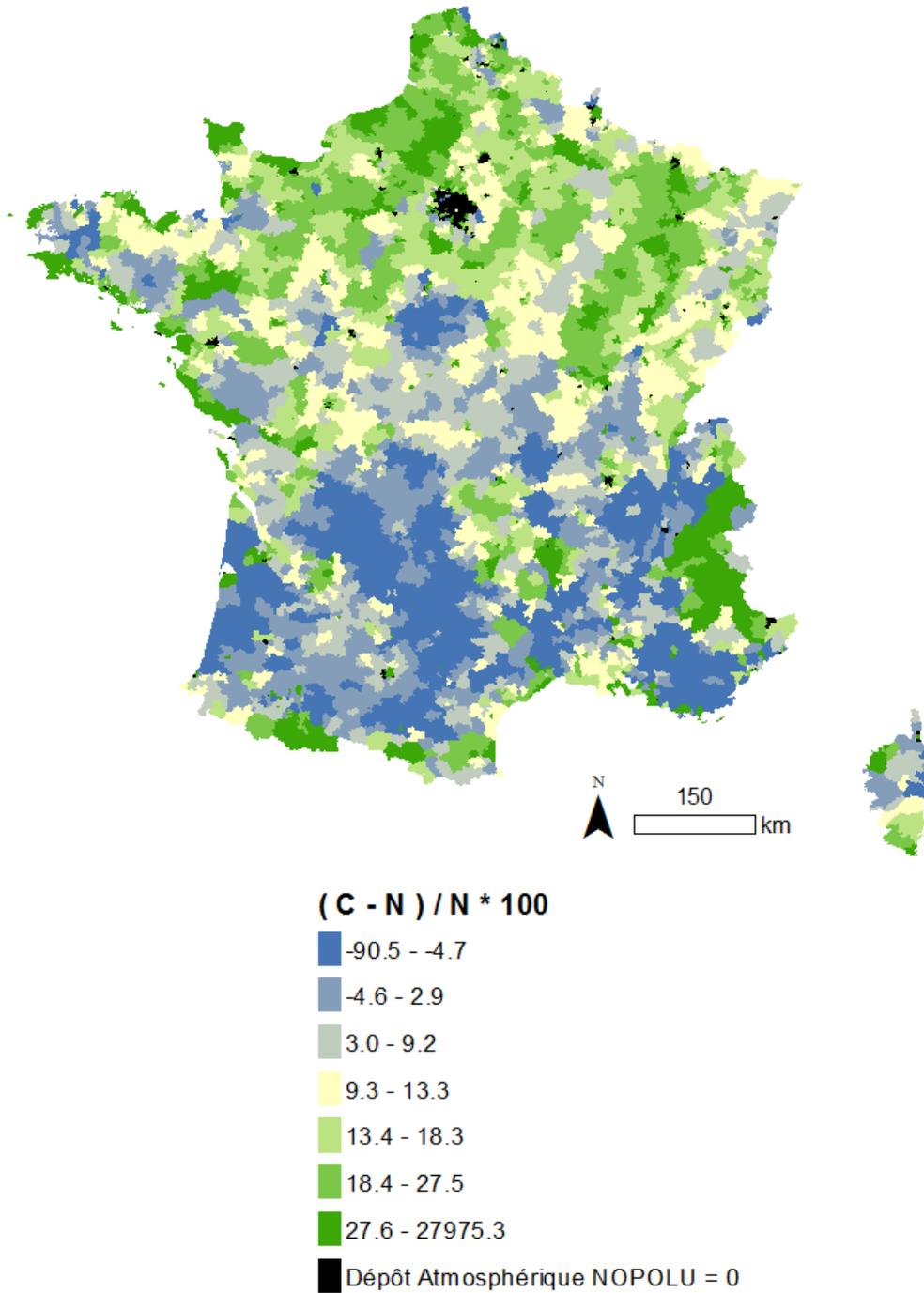


Figure 17 : Répartition spatiale des différences exprimées en valeur relative (%) pour les valeurs de dépôt atmosphérique calculées par CASSIS_N et NOPOLU (à l'échelle cantonale)

Les valeurs obtenues par CASSIS_N sont notées C, celles obtenues par NOPOLU sont notées N.

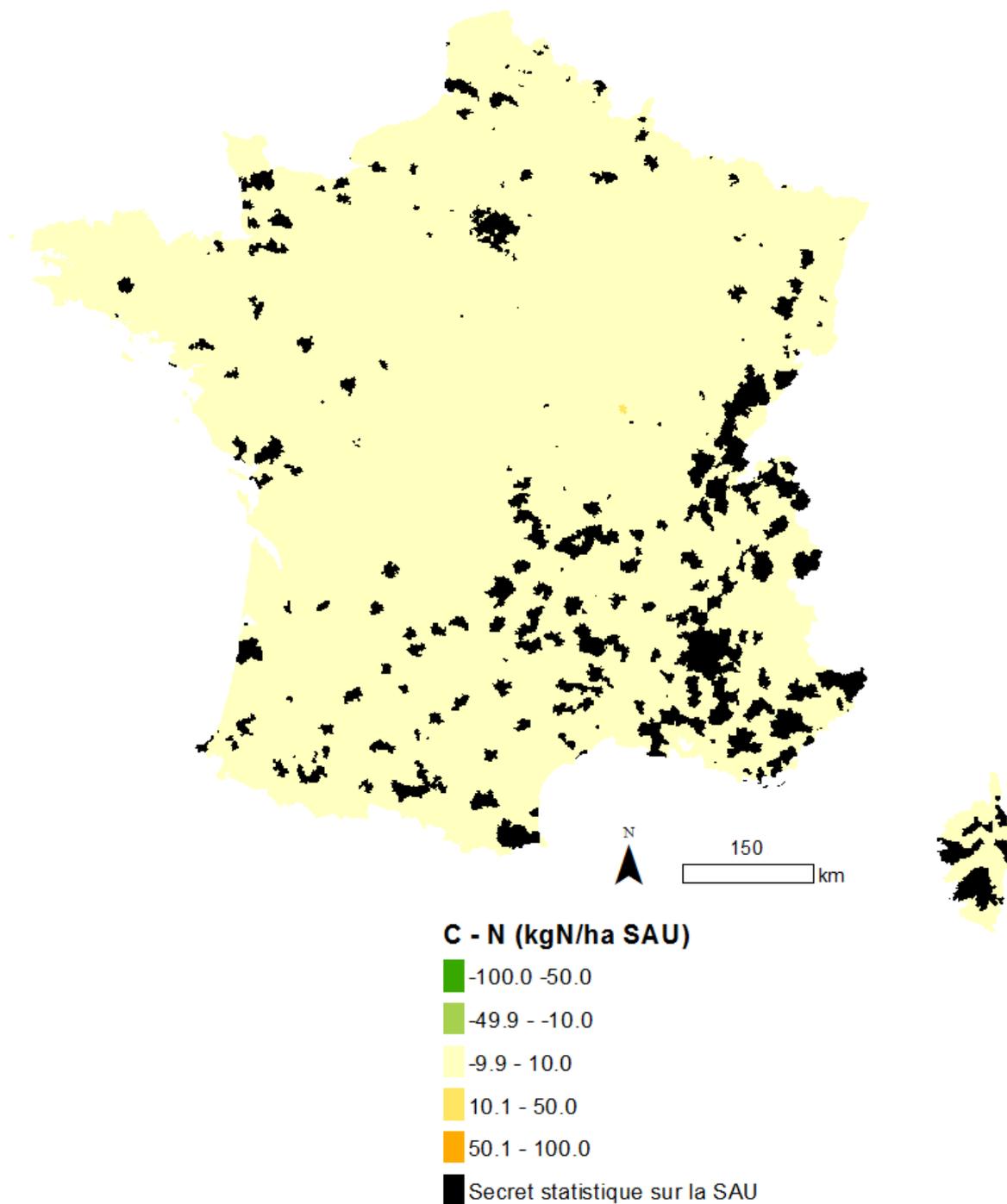


Figure 18 : Répartition spatiale des différences exprimées en valeur absolue (kgN/ha SAU) pour les valeurs de dépôt atmosphérique calculées par CASSIS_N et NOPOLU (à l'échelle cantonale)

Les valeurs obtenues par CASSIS_N sont notées C, celles obtenues par NOPOLU sont notées N.

III . 2 . Différences entre les valeurs cantonales du surplus azoté

III . 2 . a . Influence des différences entre les postes sur la valeur du surplus

Le surplus est calculé comme la différence entre les entrées (fertilisations minérale et organique, fixation symbiotique, dépôt atmosphérique) et les sorties (export d'azote des récoltes). Ainsi, le calcul de valeurs relativement proches pour les différents postes de la balance azotée de surface du sol par NOPOLU et CASSIS_N pourra déboucher sur des surplus azotés relativement différents (Figure 19 A). Au contraire, les différences entre les postes peuvent se compenser et conduire à l'estimation de surplus relativement proche (Figure 19 B).

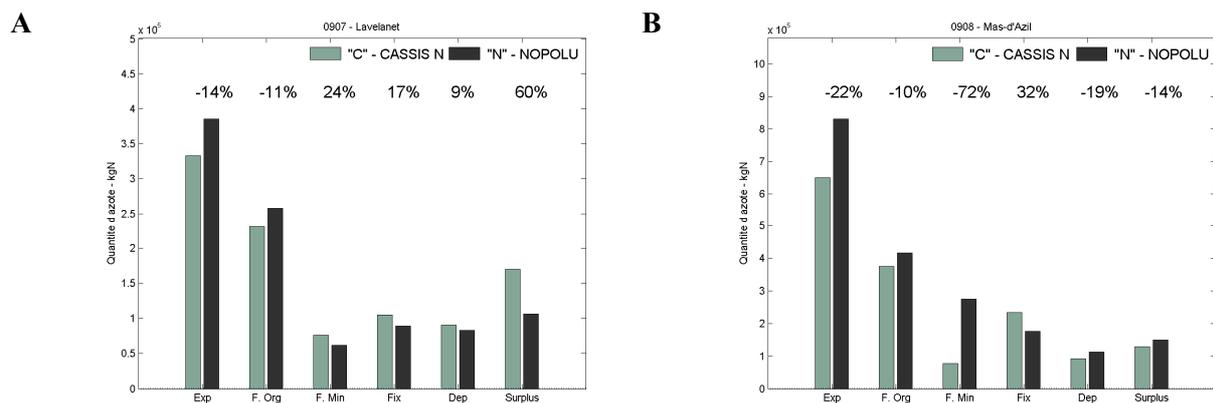


Figure 19 : Valeur des postes de la balance azotée de surface du sol et du surplus azoté pour deux communes de l'Ariège (09).

Le pourcentage de variation entre les valeurs obtenues par CASSIS_N et par NOPOLU (cf. II . 2 .) est indiqué audessus de chaque poste de la balance et pour le surplus azoté.

III . 2 . b . Répartition des différences entre les surplus azotés calculés par CASSIS_N et NOPOLU

Les variations entre les valeurs de surplus calculées par CASSIS_N et NOPOLU n'ont pu être estimées pour 300 cantons pour lesquels la valeur de surplus indiquée par NOPOLU est nulle. Pour 55% de ces

cantons, CASSIS_N estime quant à lui un surplus non nul. Cette différence semble due à l'utilisation par NOPOLU de données cantonales soumises au secret statistique.

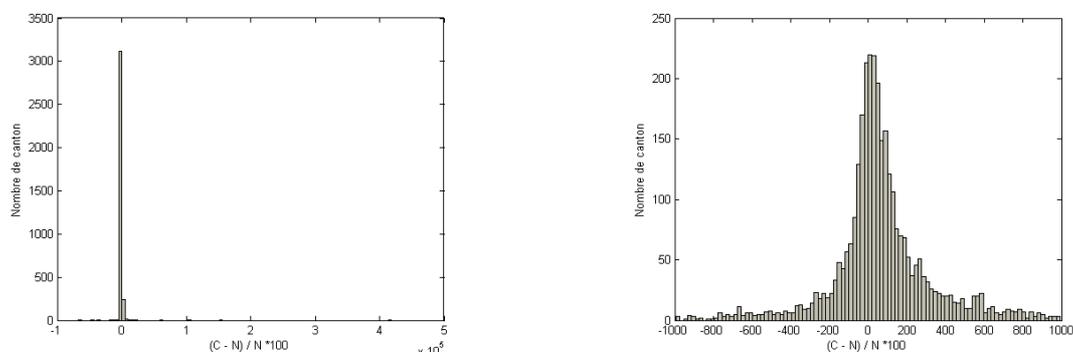


Figure 20 : Répartition des taux de variation entre CASSIS_N et NOPOLU pour les valeurs de surplus azoté
 (à gauche l'ensemble des valeurs, à droite zoom les variations comprises entre -1000 et 1000% soit 92.5% des cantons où la valeur de surplus azoté estimée par NOPOLU est non nulle)

Tableau 9 : Répartition des différences en valeur absolue pour le surplus azoté

	Quantile	2.5	25.0	50.0	75.0	97.5
Poste	Surplus azoté (kgN/ha SAU)	-44.9	-2.2	16.0	37.5	122.8

Les variations de valeur de surplus sont comprises entre $-6,7.10^{-4}$ et $4,2.10^5$ %. 37% des valeurs de surplus cantonal calculées par CASSIS_N sont inférieures à celles calculées par NOPOLU (Figure 20 : Répartition des taux de variation entre CASSIS_N et NOPOLU pour les valeurs de surplus azoté). Les différences en valeur absolue s'échelonnent de -113.6 à 242.9 kgN /ha SAU avec 95 % des valeurs comprises entre -44.9 et 122.8 kgN/ ha SAU (Tableau 9).

La combinaison des différences observées pour les différents postes (III . 2 . a .) fait émerger une répartition spatiale hétérogène des variations entre les valeurs du surplus (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**Figure 21 et Figure 22). L'organisation spatiale des valeurs du surplus en sortie des deux modèles est sensiblement la même (surplus plus importants de l'est vers l'ouest) bien que CASSIS_N fasse cependant apparaître des zones de surplus plus important que NOPOLU dans les départements de la Marne, de l'Aube, de l'Eure-et-Loir et du Lot-et-Garonne (Figure 23)**Erreur ! Source du renvoi**

introuvable. Ces valeurs plus importantes sont le fait des valeurs de fertilisation minérales plus importantes pour CASSIS_N (Figure 14 et Figure 15).

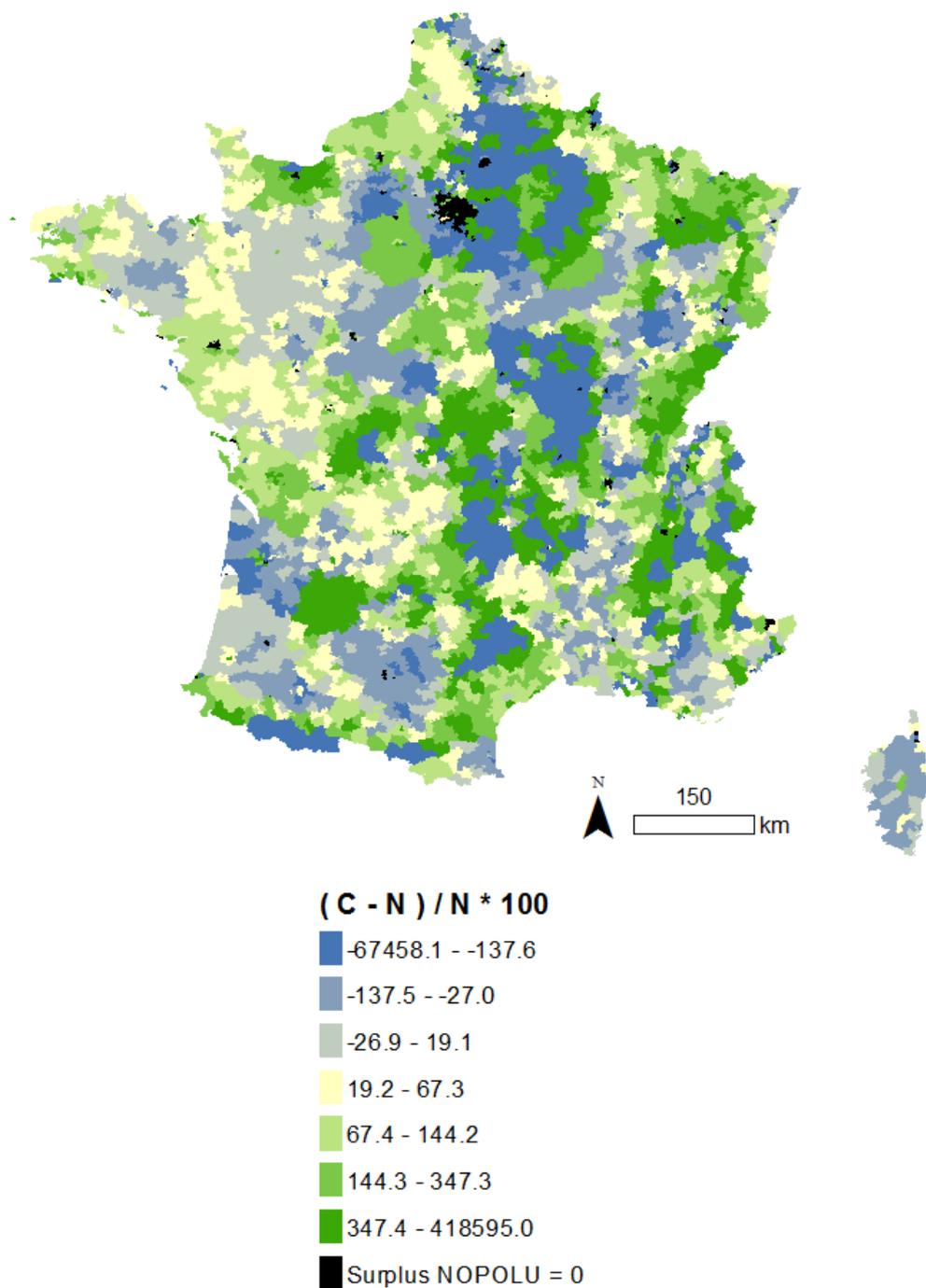


Figure 21 : Répartition spatiale des différences exprimées en valeur relative (%) pour les valeurs de surplus azoté calculées par CASSIS_N et NOPOLU (à l'échelle cantonale)

Les valeurs obtenues par CASSIS_N sont notées C, celles obtenues par NOPOLU sont notées N.

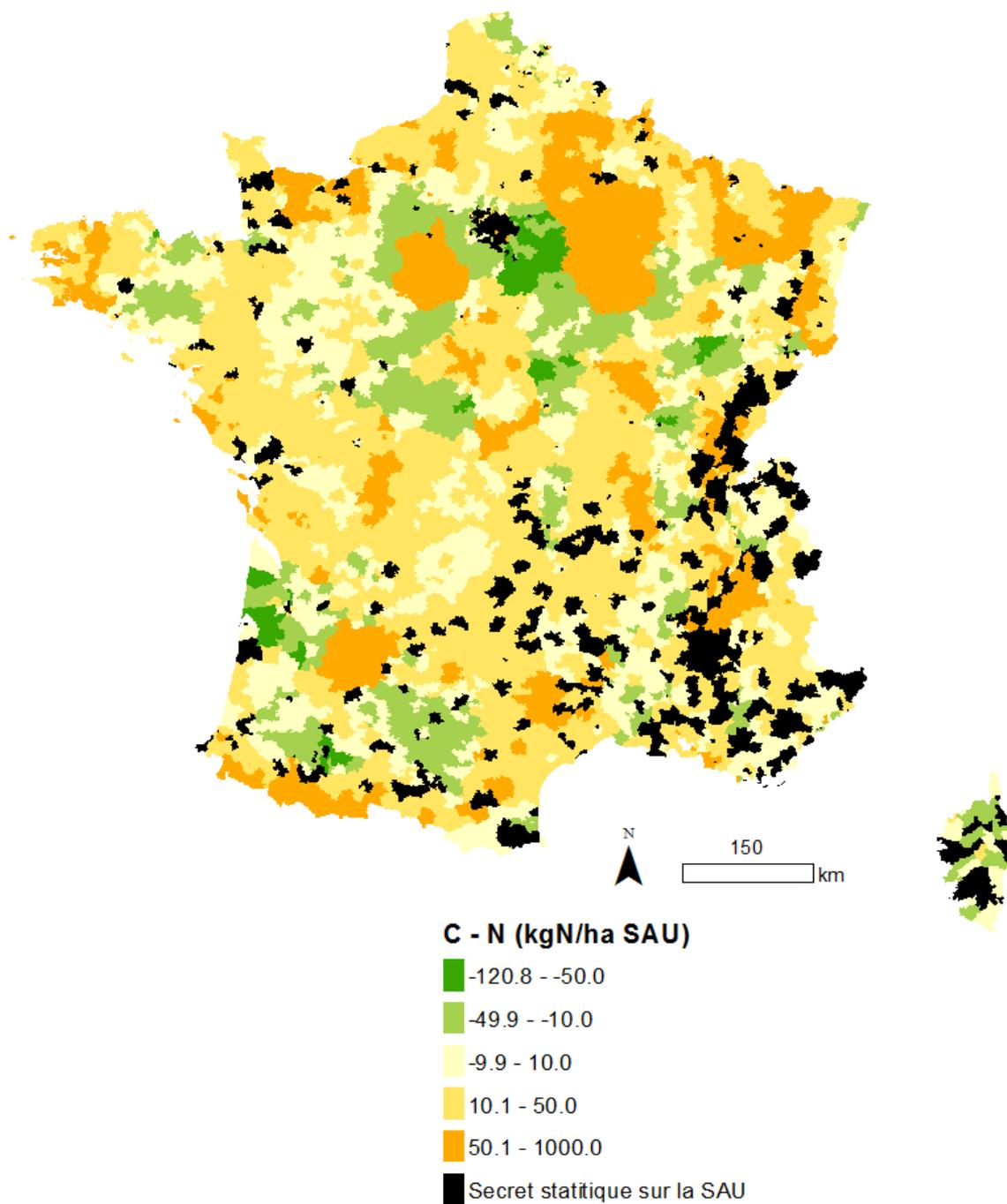


Figure 22 : Répartition spatiale des différences exprimées en valeur absolue (kgN/ha SAU) pour les valeurs de surplus azoté calculées par CASSIS_N et NOPOLU (à l'échelle cantonale)

Les valeurs obtenues par CASSIS_N sont notées C, celles obtenues par NOPOLU sont notées N.

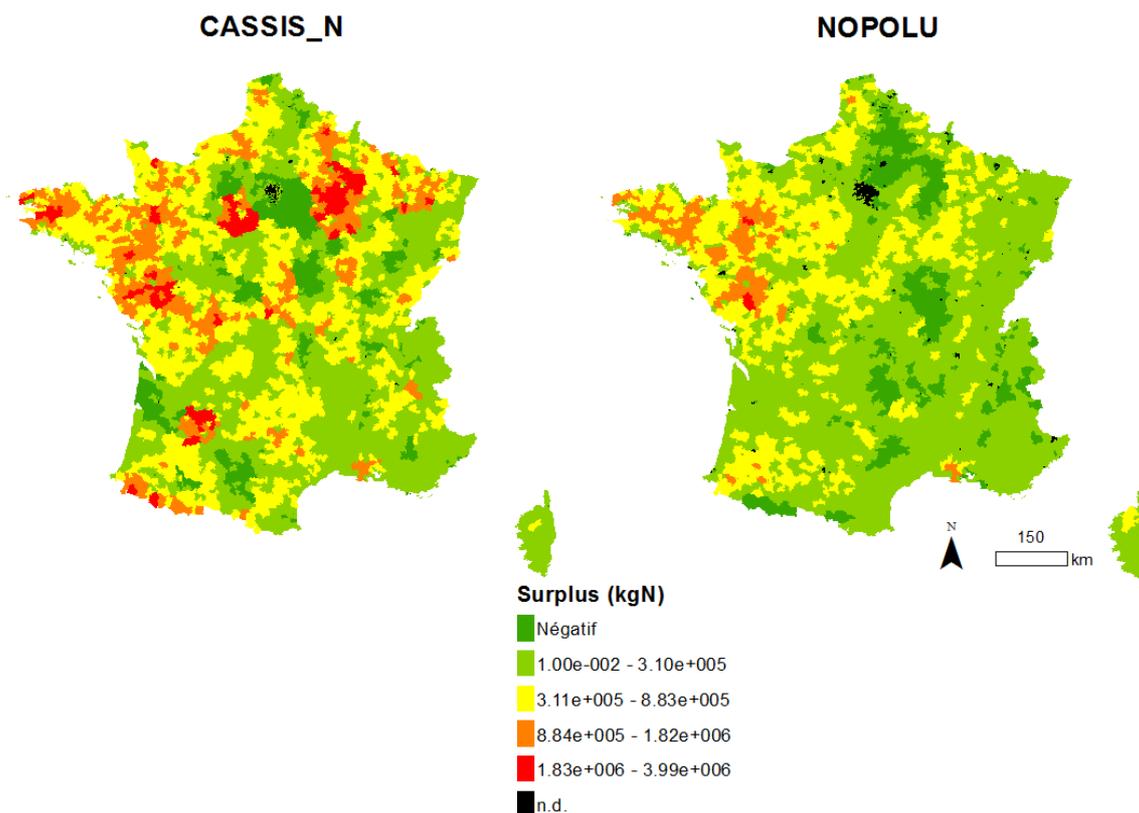


Figure 23 : Valeurs cantonales de surplus pour l'année 2010 (kgN) calculées d'après CASSIS_N et NOPOLU

n.b. : Les valeurs notées n.d. (non disponibles) obtenues pour les deux modèles sont la traduction de cantons où la SAU est égale à zéro.

IV. Conclusion

L'objet de ce rapport était de présenter les différences obtenues entre les deux modèles de calcul de la balance azotée de surface du sol : NOPOLU et CASSIS_N, à l'échelle des cantons français pour l'année 2010.

Tableau 10 : tableau récapitulatif des différences pour les postes de la balance azotée calculés d'après CASSIS_N et

	NOPOLU					
	Export	Fertilisation organique	Fertilisation minérale	Fixation symbiotique	Dépôt atmosphérique	Surplus azoté
Pourcentage de cantons où la valeur calculée par CASSIS_N est plus faible que celle calculée par NOPOLU	86.3	53.0	51.0	3.4	21.8	36.6
En valeur absolue (kgN/ha SAU), 95% des différences se situent entre	[-36.4 : 20.4]	[-20.6 : 26.6]	[-62.6 : 85.9]	[-0.8 : 15.9]	[-0.9 : 4.3]	[-44.9 : 122.8]

Les postes peuvent être classés en fonction de leur dissemblance par ordre décroissant :

- la fertilisation minérale.
- l'export d'azote
- la fertilisation organique
- la fixation symbiotique
- le dépôt atmosphérique

Les sources de différences entre les deux modèles semblent être les suivantes :

- les formules utilisées pour l'estimation des postes (fixation symbiotique et fertilisation minérale)
- les sources de variation des coefficients prises en compte pour NOPOLU (temps de pâture pour la fertilisation organique)
- les différences entre les coefficients utilisés (export d'azote, fertilisation organique)
- la présence du secret statistique (export d'azote, fertilisation organique).

Au final, 36.6% des valeurs de surplus cantonal calculées par CASSIS_N sont inférieures à celles calculées par NOPOLU mais l'échelle de valeur obtenue par les deux modèles est la même. La spatialisation des surplus montre une organisation relativement similaire bien que CASSIS_N fasse état de zones de forts surplus dans des zones non identifiées par NOPOLU.

V. Bibliographie

Site Internet d'Agreste : DISAR (<https://stats.agriculture.gouv.fr/disar/>)

Anglade, J., Billen, G., Garnier, J., 2015. Relationships for estimating N₂ fixation in legumes: incidence for N balance of legume-based cropping systems in Europe. *Ecosphere* 6, 1–24. doi:10.1890/ES14-00353.1

CORPEN, 2001. Estimation des flux d'azote, de phosphore et de potassium associés aux bovins allaitants et aux bovins en croissance ou à l'engrais, issus des troupeaux allaitants et laitiers, et à leur système fourrager. Comité d'Organisation pour des Pratiques agricoles respectueuses de l'Environnement, Paris, France.

CORPEN, 2006. Estimation des rejets d'azote - phosphore - potassium - calcium -cuivre - zinc par les élevages avicoles. Comité d'Organisation pour des Pratiques agricoles respectueuses de l'Environnement, Paris, France.

SOeS, 2013. NOPOLU-Agri. Outil de spatialisation des pressions de l'agriculture. Méthodologie et résultats pour les surplus d'azote et les émissions des gaz à effet de serre. Campagne 2010-2011. Ministère du Développement durable et de l'Énergie.

VI. Annexes

VI. 1. Liste des cultures utilisées pour le calcul de la SAU selon NOPOLU

- Blé tendre
- Triticale
- Blé dur
- Seigle
- Orge et escourgeon
- Avoine
- Maïs grain et semence (dont maïs grain et semence irrigué)
- Riz
- Autres céréales (mélanges de céréales ou non)
- Sorgho grain
- Légumineuses pures (fourragères)
- Légumes secs
- Pomme de terre
- Betterave industrielle
- Plantes sarclées fourragères (Betteraves fourragères, Choux fourragers, Navets fourragers, Autres)
- Tabac
- Houblon
- Colza
- Tournesol
- Soja
- Autres oléagineux
- Lavandes
- Autres cultures industrielles
- Plantes textiles (Lin, chanvre, Autres)
- Légumes frais de plein champ destinés au marché du frais
- Légumes frais en plein air ou abris bas hors assolement
- Légumes frais sous serre et sous abri haut
- Fleurs et plantes ornementales en plein air ou sous abri bas
- Fleurs et plantes ornementales sous serre ou sous abri haut
- Prairies temporaires (graminées pures)
- Mélanges de graminées et associations de graminées - légumineuses
- Maïs fourrage et ensilage (plante entière)
- Autres fourrages annuels (ray - grass, colza fourrager, sorgho fourrager)
- Prairies artificielles (Luzerne, trèfle violet, trèfle incarnat, autres légumineuses et mélanges de légumineuses)
- Pois protéagineux
- Jachères (hors jachères productives)
- Prairies naturelles (y compris les surfaces collectives)
- Prairies naturelles peu productives (y compris les surfaces collectives)
- Fruits (Fruits à noyaux)
- Petits fruits
- Pommes
- Poires
- Autres fruits à pépins
- Fruits (agrumes)
- Noix et fruits secs
- Olives
- Vigne (sous signe officiel de qualité)
- Autres vignes
- Raisin de table
- Pépinières
- Peupleraies
- Bois et forêts

VI. 2 . Comparaison poste à poste par département

Le numéro du département et le poste concerné sont indiqués dans le titre de chacun des graphiques.

Les points représentés dans l'ensemble des graphiques présentent les résultats pour un poste pour un canton à partir de l'application de CASSIS_N et par NOPOLU.

