
UNIVERSITÉ PARIS 8 — VINCENNES-SAINT-DENIS

Département de Géographie

Master 1 G2M — Géodécisionnel, Géomarketing et Multimédia

Année universitaire 2025-2026

Document annexe au mémoire d'Application Professionnelle

Annexes techniques

Compléments au mémoire

Fusion volontaire de la commune d'Onișcani

*Analyse géomatique et géodécisionnelle du cluster officiel de Călărași
(dix-sept UAT), République de Moldavie*

★ ★ ★

Document à lire conjointement au mémoire principal

Memoire_M1_G2M_Gaina_Onascu_v2.pdf

Auteur :

Mihai GAINA

Master 1 G2M — Université Paris 8

Originaire du village d'Onișcani

gaina.mihai.pro@gmail.com

Tuteur pédagogique :

M. Vincent GODARD

Directeur de l'UFR ériTES

Université Paris 8

vgodard@univ-paris8.fr

Code source publié sur GitHub sous **licence MIT** :

<https://github.com/7gMi/oniscani-amalgamare-toolkit>

<https://github.com/7gMi/jakarta-pipeline>

Annexes techniques — version de dépôt

Juin 2026

Table des matières

Avant-propos	1
A1 Cartes thématiques au format grand	2
A1.1 Carte H01 — Vue nationale de la République de Moldavie	2
A1.2 Carte H02 — Localisation régionale dans le district Călărași	4
A1.3 Carte H03 — Limite administrative du cluster (17 UAT)	5
A1.4 Carte H04 — Réseau routier et transport	6
A1.5 Carte H05 — Hydrographie (étangs et réseau)	7
A1.6 Carte H06 — Patrimoine culturel-religieux	8
A1.7 Carte H07 — Équipements publics	9
A1.8 Carte H08 — Densité de population (choroplèthe)	10
A2 Tableau démographique complet du district Călărași	11
A3 Code source Python — formule officielle AmalgaSim 2.6.4	14
A4 Scripts R — modélisation probabiliste	15
A4.1 Script R.1 — Programmation de la boucle de Monte Carlo	15
A4.2 Script R.2 — Régression spatiale Moran I	15
A4.3 Script R.3 — Test de robustesse bayésien sur le seuil légal	16
A4.4 Script Python de validation statistique — mémoire v2.6	16
A4.5 Résultats détaillés du test de Moran’s I (Scénario A)	17
A5 Modèle conceptuel d’analyse géodécisionnelle (détaillé)	19
A5.1 Entités principales et attributs	20
A5.2 Pondérations multicritères (AHP / Saaty)	20
A5.3 Codage des positions politiques des cinq maires partenaires	20
A5.4 Matrice de comparaison AHP/Saaty 4×4 (critères de probabilité d’adhésion)	24
A5.4.1 Critères évalués et nomenclature	25
A5.4.2 Structuration de la matrice de décision (AHP)	25
A5.4.3 Vecteur des moyennes géométriques (approximation de Saaty)	26
A5.4.4 Vecteur w des poids normalisés	26

A5.4.5	Test de cohérence : ratio CR de Saaty	27
A5.4.6	Analyse de sensibilité des poids AHP	28
A6	Architecture et points d'accès de la plateforme web SIG	30
A6.1	Architecture trois tiers	30
A6.2	Points d'accès (endpoints)	31
A6.3	Sécurisation de l'interrogation	31
A6.4	Déploiement	32
A7	Pipeline télédétection Sentinel-2A (7 étapes)	33
A7.1	Présentation générale du traitement Sentinel-2A	33
A7.2	Détail des sept étapes	34
A7.3	Reproductibilité et efficacité méthodologique	36
A8	Glossaire terminologique trilingue (RO / FR / EN)	37
	Précisions sur le cadre légal	38

Avant-propos

Ce fascicule d'annexes rassemble la matière technique de mon mémoire d'Application Professionnelle (Master 1 G2M, Université Paris 8), consacré à la fusion volontaire de la commune d'Onișcani dans le district Călărași (République de Moldavie). J'y poursuis deux buts : rendre compte des méthodes employées pour analyser le cluster, et donner à tout lecteur les moyens de reproduire mes expériences. Pour cela, j'y verse l'ensemble du matériel brut. On y trouvera le tableau démographique des 22 communes du district, le code Python qui reproduit la formule officielle AmalgaSim, les scripts R de modélisation probabiliste (Monte Carlo, régression spatiale, test bayésien), ainsi que le Modèle Conceptuel de Données complet et un glossaire terminologique trilingue.

Standardisation et transparence des données. Le diagnostic territorial s'appuie sur huit planches thématiques. Je les présente chacune en pleine page, accompagnée d'une fiche de métadonnées qui en précise le système de projection, l'échelle, la source, la date de production et les choix de conception graphique.

Reproductibilité et cadres juridiques. J'ai conçu l'ensemble des scripts de traitement pour qu'ils soient reproductibles. Les chaînes de calcul tournent sous Python 3.12 (librairies `numpy`, `pandas`, `matplotlib`) et R 4.x (paquets `sp`, `sf`, `spdep`, `gstat`, `spatstat`).

Le modèle s'appuie sur un socle documentaire en grande partie ouvert ; c'est sur cette accessibilité des sources que repose son intérêt.

- Pour le volet démographique, je m'appuie sur les données officielles du **BNS RPL 2024**, le Bureau National de Statistique de la République de Moldavie.
- Le fond géographique provient d'**OpenStreetMap**, base collaborative diffusée sous licence ODbL.
- L'imagerie satellitaire à haute résolution est issue de **Copernicus (Sentinel-2A)**, sous licence ESA.

Dans une logique de partage, je place ce document sous licence libre, son usage restant limité au cadre académique et non commercial.

Annexe A1

Cartes thématiques au format grand

Les huit cartes thématiques mobilisées dans le mémoire principal sont présentées ci-après au format individuel pleine page (résolution 300 dpi). Elles ont été produites sous **QGIS 3.40 LTR Bratislava** et respectent les huit règles de sémiologie cartographique académique françaises (cf. mémoire principal, section 2.6) ainsi que les standards COVA-DIS v2.1 et ISO 19115 :2014.

A1.1 Carte H01 — Vue nationale de la République de Moldavie

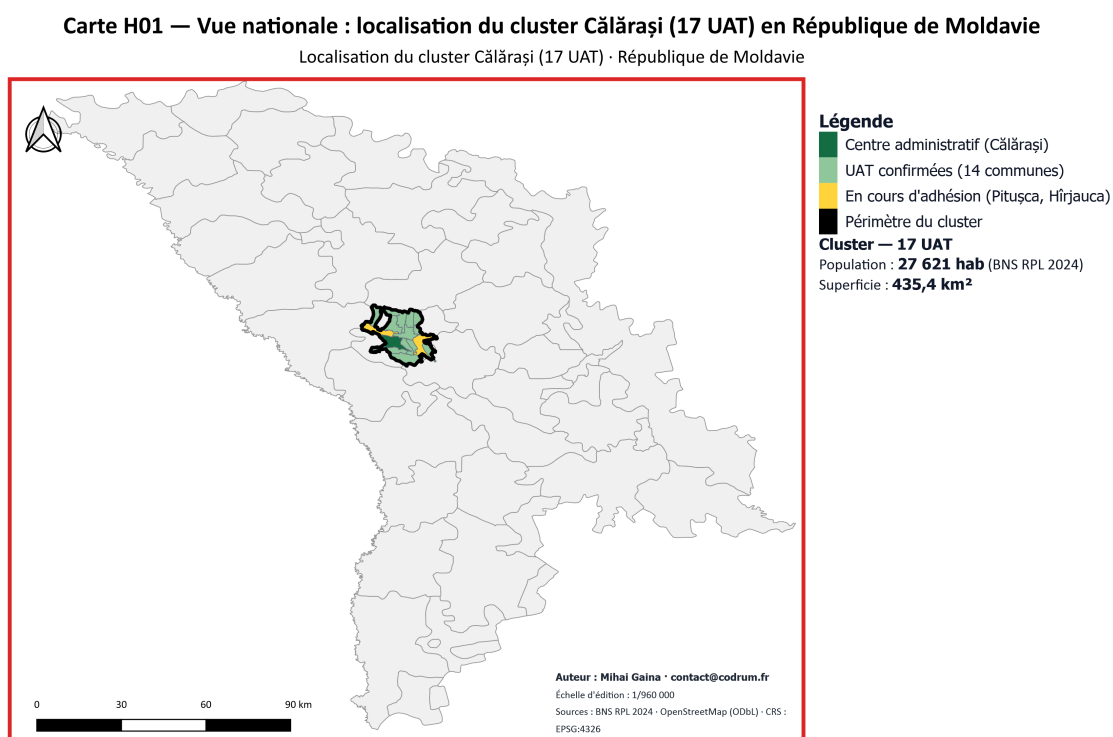


Figure A1.1. Localisation du cluster d'Onișcani à l'échelle nationale de la République de Moldavie. *Source* : BNS RPL 2024, AGCC, OpenStreetMap. *Projection* : EPSG :4326 (WGS84). — *Conception* : M. Gaina, 2026.

A1.2 Carte H02 — Localisation régionale dans le district Călărași

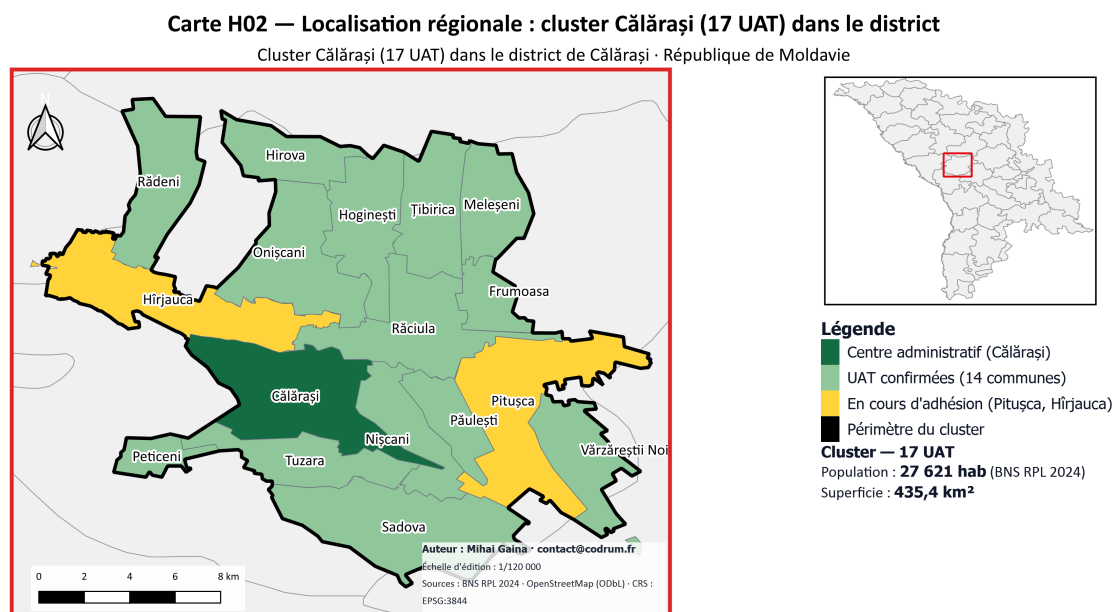


Figure A1.2. Localisation régionale du cluster d'Onișcani dans le district Călărași. *Source : BNS RPL 2024, OpenStreetMap. Projection : EPSG :3844 (Stéréo 70 — standard AGCC Moldavie). — Conception : M. Gaina, 2026.*

A1.3 Carte H03 — Limite administrative du cluster (17 UAT)

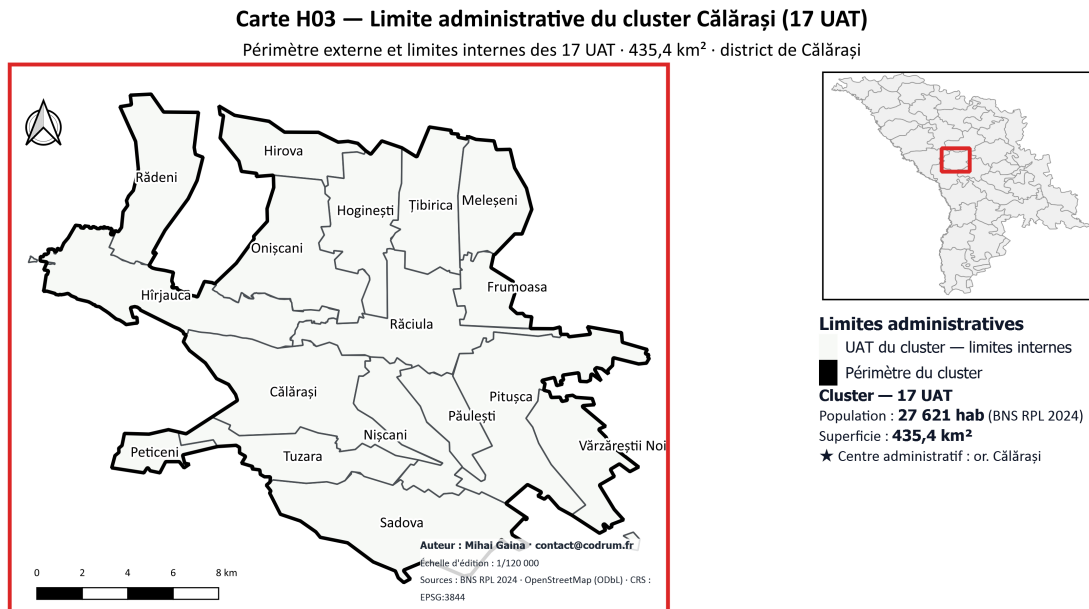


Figure A1.3. Limite administrative du cluster officiel de Călărași : dix-sept UAT contiguës totalisant 435,4 km², autour de la ville-chef-lieu de Călărași. *Source : BNS RPL 2024, OpenStreet-Map. Projection : EPSG :3844. — Conception : M. Gaina, 2026.*

A1.4 Carte H04 — Réseau routier et transport

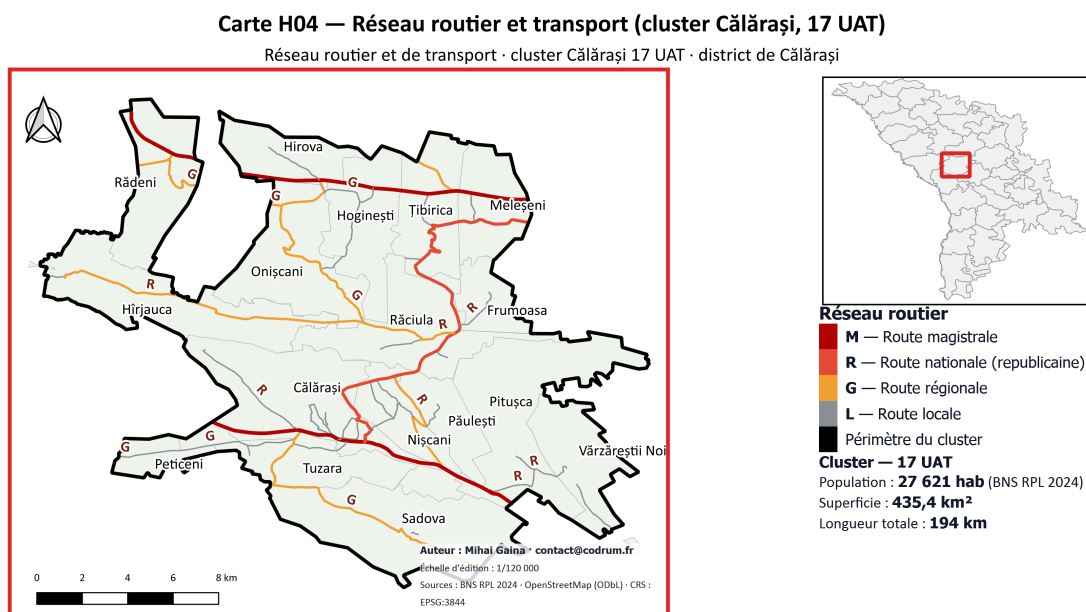


Figure A1.4. Réseau routier du cluster officiel de Călărași (17 UAT) : 194 km de routes, des axes magistraux M et nationaux R aux voies régionales G et locales L (situation en septembre 2025). *Source : OpenStreetMap, MIDR Moldavie. Projection : EPSG :3844. — Conception : M. Gaina, 2026.*

A1.5 Carte H05 — Hydrographie (étangs et réseau)

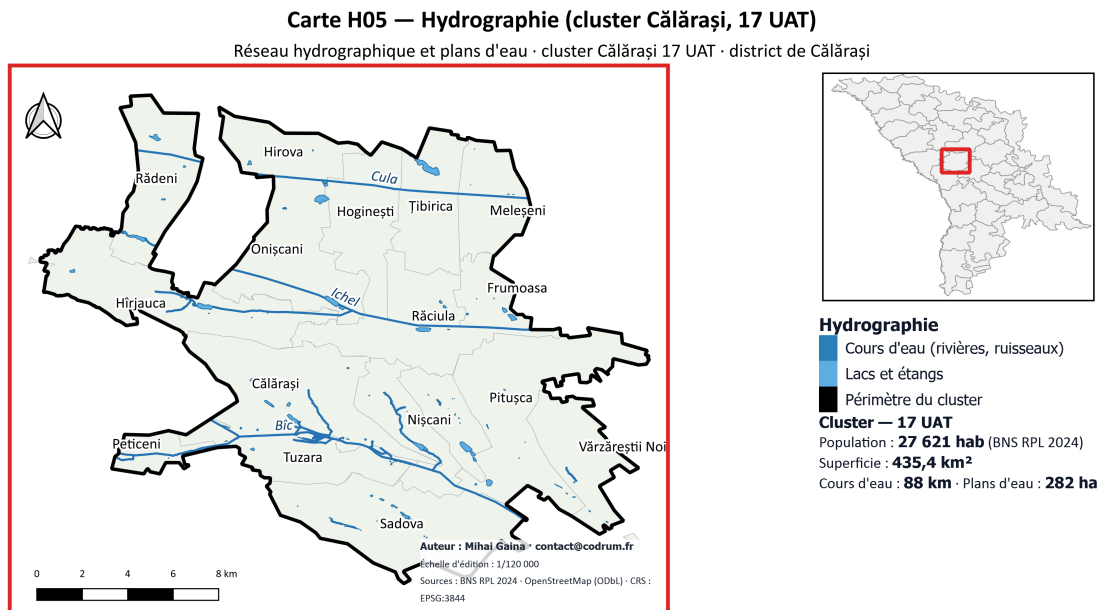


Figure A1.5. Hydrographie du cluster officiel de Călărași (17 UAT) : 88 km de cours d'eau et 101 étangs totalisant environ 344 hectares. *Source : OpenStreetMap (couches natural=water et waterway). Projection : EPSG :3844. — Conception : M. Gaina, 2026.*

A1.6 Carte H06 — Patrimoine culturel-religieux

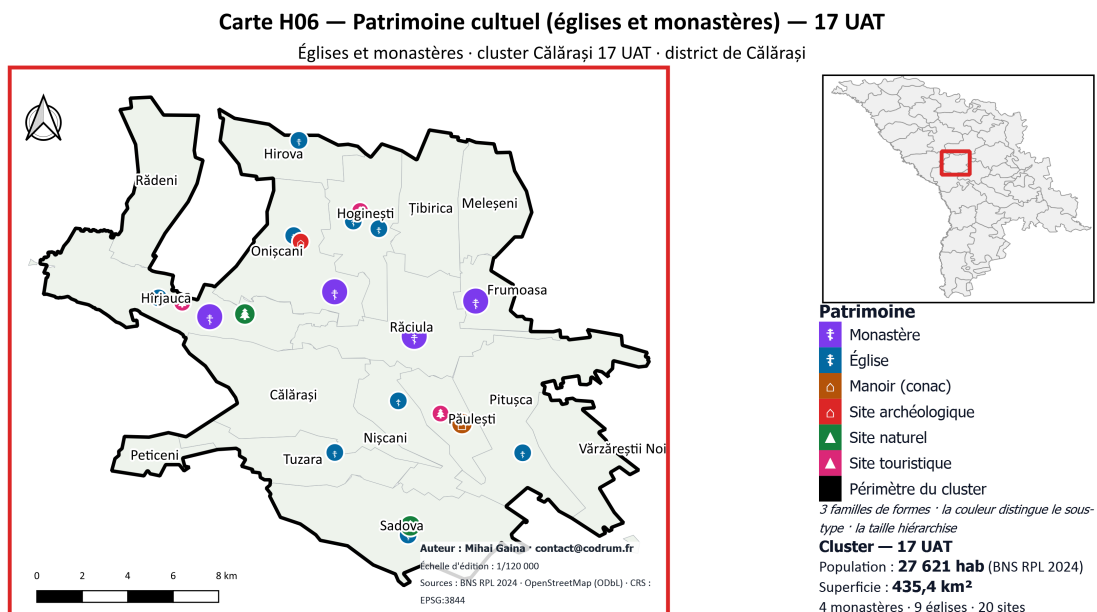


Figure A1.6. Patrimoine culturel du cluster officiel de Călărași (17 UAT) : 9 églises et 4 monastères. Inclut la Mănăstirea de Hîrbovăț, représentée sur le billet de 50 lei MDL. *Source : OpenStreetMap, silvicultura.md, scoalamea.md, MoldPres 2024. Projection : EPSG :3844. — Conception : M. Gaina, 2026.*

A1.7 Carte H07 — Équipements publics

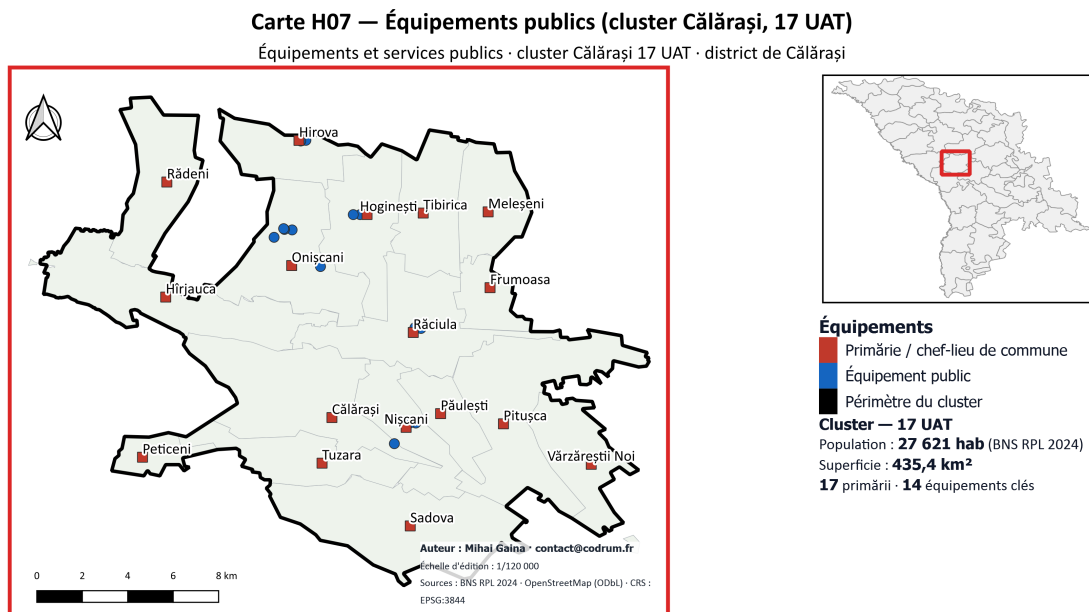


Figure A1.7. Équipements publics du cluster officiel de Călărași (17 UAT) : écoles, mairies, dispensaires, points postaux et autres infrastructures de service public. *Source : OpenStreetMap (couches amenity), inventaire local. Projection : EPSG :3844. — Conception : M. Gaina, 2026.*

A1.8 Carte H08 — Densité de population (choroplèthe)

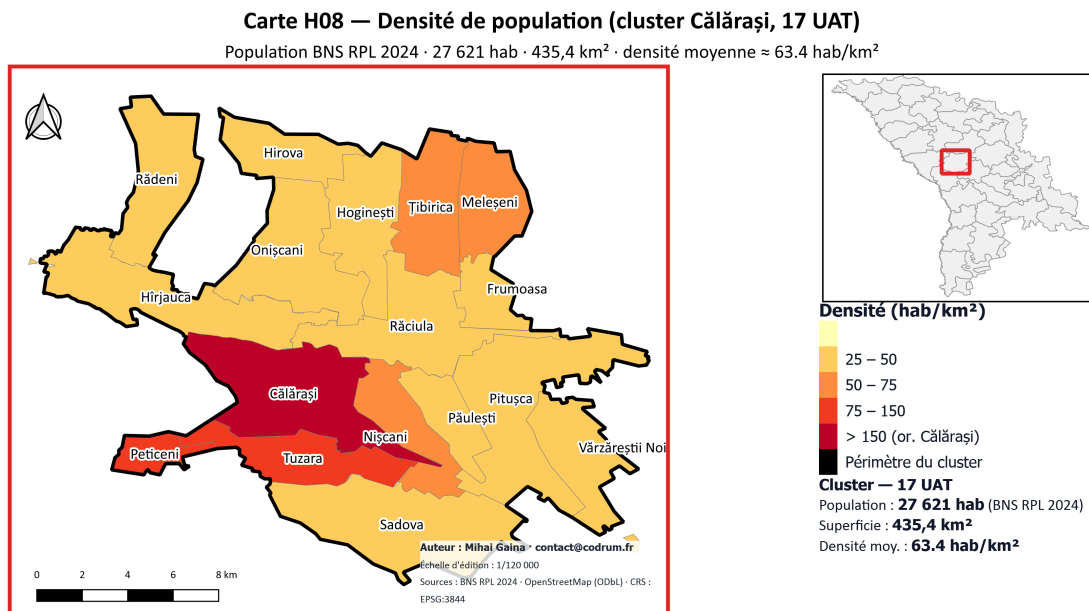


Figure A1.8. Densité de population par commune (cluster d'Onișcani, 2024). Discrétisation en six classes par méthode Q6 (quantiles plus extrêmes). Variable visuelle : *valeur*¹. Source : BNS RPL 2024, OpenStreetMap. Projection : EPSG :3844. — Conception : M. Gaina, 2026.

Annexe A2

Tableau démographique complet du district Călărași

Le jeu de données BNS RPL 2024 consolidé sur les unités administratives-territoriales (UAT) effectives du district Călărași fait l'objet d'un fichier de travail au format Excel (`dataset_BNS_RPL_2024_raionul_Calarasi.xlsx`). Le tableau ci-après détaille la composition de chaque UAT (type : *oraș / comuna* pluri-sate / *sat-comuna*), sa population 2014 et 2024, le parti du primar en exercice, ainsi que son appartenance aux deux périmètres successifs du cluster officiel de Călărași : la **liste initiale 11 UAT** annoncée publiquement par M^{me} la députée Tatiana Rotari le 23 avril 2026 sur sa page Facebook officielle, et la **liste finale 17 UAT** arrêtée à l'issue des consultations publiques du 17 mai 2026 et des pivots citoyens consécutifs.

Pour construire ce tableau de synthèse, je me suis appuyé sur trois piliers documentaires. L'assise démographique provient en priorité du Bureau National de Statistique¹. J'ai pris soin de confirmer ces chiffres à l'aide du dataset officiel RPL 2024 et de les croiser avec les sorties du simulateur AmalgaSim 2.6.1. Lorsqu'une donnée manquait, j'ai calculé une estimation (marquée du symbole \approx) en appliquant le facteur moyen de variation décennale observé à l'échelle nationale (soit une baisse d'environ 27%). Concernant l'étiquette politique des élus, ma référence est le registre public des 28 maires du district de Călărași, actualisé le 18 février 2025 sur le portail calarasi.md. Enfin, pour tracer l'évolution des statuts d'amalgamation, j'ai compilé trois événements clés : la déclaration initiale de la députée Tatiana Rotari le 23 avril 2026², les retours des consultations publiques du

1. BIROUL NAȚIONAL DE STATISTICĂ AL REPUBLICII MOLDOVA. *Recensământul Populației și Locuitorilor 2024 (RPL 2024)*. 2024. URL : <https://statistica.gov.md/ro/recensamantul-populatiei-si-al-locuitorilor-2024-9940.html>.

2. T. ROTARI. *Annonce vidéo du plan d'amalgamation volontaire à quatre clusters pour le raionul Călărași*. Facebook Reel. Vidéo (Reel) publiée le 23 avril 2026 par la députée PAS Tatiana Rotari sur sa page Facebook officielle. Présentation des quatre clusters de fusion proposés pour les 28 UAT du raionul Călărași dans le cadre du programme « Primării puternice » du gouvernement Buzu : cluster n° 1 « fanion » Călărași oraș et dix communes (20 551 hab), clusters n° 2 et 3 (configurations sans Onișcani) et cluster n° 4 bilatéral Onișcani+Hirova (1 749 hab, juridiquement inviable car sous-seuil démographique).

17 mai, et la confirmation par le maire Gheorghe Grecu Constantin — annoncée sur sa page Facebook le 18 mai puis formalisée par la décision d'initiation du Consiliul Local d'Onișcani (n° 04/02 du 22 mai 2026).

#	Type	UAT	Sate composants	Pop. 14	Pop. 24	Parti primar	11 UAT (23/04)	17 UAT (17/05)
<i>Cluster officiel de Călărași — périmètre final 17 UAT confirmé post-17/05/2026 :</i>								
1	oraș	Călărași	Călărași + Oricova	14 498	9 514	PAS	✓	✓
2	sat-com.	Răciula	—	2 517	1 443	PAS	✓	✓
3	sat-com.	Frumoasa	—	690	410	non préc.	✓	✓
4	sat-com.	Peticeni	—	1 168	838	PAS	✓	✓
5	sat-com.	Păulești	—	901	547	non préc.	✓	✓
6	sat-com.	Sadova	—	2 420	1 441	Indép.	✓	✓
7	comuna	Țibirica	Țibirica + Schinoasa	2 262	1 486	CUB	✓	✓
8	sat-com.	Meleșeni	—	1 572	945	PDCM	✓	✓
9	comuna	Tuzara	Tuzara + Novaci + Seliște Nouă	2 685	1 738	PAS	✓	✓
10	sat-com.	Nișcani	—	1 595	1 034	PAS	✓	✓
<i>Pivots et adhésions complémentaires (post-17/05/2026) :</i>								
11	comuna	Onișcani	Onișcani + Hîrbovăț + Sverida	1 925	982	PAS	—	✓
12	sat-com.	Hirova	—	1 370	796	non préc.	—	✓
13	sat-com.	Hoginești	—	1 687	1 155	CUB	—	✓
14	sat-com.	Pitușca	—	2 832	1 810	PSRM	—	✓
15	comuna	Hîrjauca	Hîrjauca + Leordoia + Mîndra + Palanca	2 505	1 826	PSRM	—	✓
16	sat-com.	Vărzăreștii Noi	—	1 323	776	PSRM	—	✓
17	sat-com.	Rădeni	—	1 519	880	PAS	—	✓
		TOTAL cluster Călărași (17 UAT post- 17/05)		43 469	27 621	5 partis	10	17
<i>Cluster rural CL01 (enregistré mars 2025, distinct du cluster officiel) :</i>								
18	sat-com.	Horodiște	—	2 480	≈ 1 636	non préc.	✓	—
19	comuna	Buda	Buda + Ursari	1 004	≈ 776	Renaștere	—	—
20	sat-com.	Pîrjolteni	—	1 640	≈ 935	non préc.	—	—
21	sat-com.	Căbăiești	—	979	≈ 533	Renaștere	—	—
<i>Autres clusters de fusion identifiés dans le district Călărași :</i>								
22	sat-com.	Vălcineț (sat)	—	—	—	non préc.	—	—
23	sat-com.	Temeleuți	—	—	≈ 5 433	non préc.	—	—
<i>Cluster #2 Vălcineț + Temeleuți (2 UAT, ~ 5 433 hab, autonome)</i>								
24	sat-com.	Bravicea	—	3 112	≈ 2 270	PAS	—	—
25	comuna	Săseni	Săseni + Bahu	2 249	≈ 1 640	non préc.	—	—
<i>Cluster #3 Bravicea + Săseni (2 UAT, ~ 3 403 hab, autonome bottom-up)</i>								
<i>UAT autonomes (hors clusters au 22/05/2026) :</i>								
26	comuna	Sipoteni	Sipoteni + Podul Lung	6 200	4 503	PAS	—	—
27	sat-com.	Bahmut	—	1 670	1 137	PAS	—	—
28	comuna	Dereneu	Dereneu + Bularda + Duma	1 301	≈ 950	PSRM	—	—

Avr. 2026. URL : <https://www.facebook.com/reel/2684980435232680>.

#	Type	UAT	Sate composants	Pop. 14	Pop. 24	Parti primar	11 UAT (23/04)	17 UAT (17/05)
		TOTAL district (28 UAT + 40 villages Călărași)	dis-district Călărași hors Călărași)	≈ 71 100	≈ 47 450	—	11	17

Tableau A2.1. Tableau démographique consolidé du district Călărași, BNS RPL 2014/2024.

Légende : **Type** : *oraș* = ville chef-lieu raional ; *comuna* = UAT composée de plusieurs *sate* avec une primărie commune ; *sat-comuna* = UAT composée d'un seul *sat* avec primărie propre. **Liste 11 UAT** : composition initiale annoncée par M^{me} la députée Tatiana Rotari le 23 avril 2026 sur Facebook officiel. **Liste 17 UAT** : composition finale arrêtée à l'issue des consultations publiques du 17 mai 2026 et des décisions de pivot citoyen consécutives (notamment la décision d'unification du Conseil Communal d'Onișcani avec ses villages composants Hîrbovăț et Sverida, validée le 17 mai 2026 et confirmée par le post Facebook officiel du primar Gheorghe Grecu Constantin du 18 mai 2026). **Mise à jour (08/06/2026)** : le périmètre officiel finalement constitué totalise **27 621 habitants** pour dix-sept UAT, avec une composition révisée (sortie de Buda, Căbăiești et Pîrjolteni vers le cluster rural voisin ; entrée de Tuzara, Sadova, Pitușca, Frumoasa, Vărzăreștii Noi et Rădeni). Ce périmètre est confirmé par l'annonce du Secrétaire général du Gouvernement, Alexei Buzu (8 juin 2026), et par le simulateur AmalgaSim 2.6.4 (144,8 millions de lei de transferts). Le détail nominatif ci-dessus reflète l'état au 17 mai 2026.

Annexe A3

Code source Python — formule officielle AmalgaSim 2.6.4

La formule officielle AmalgaSim (cf. mémoire principal, section 2.3) est implémentée en Python 3.12 selon la spécification de l'Annexe n° 2 de la Décision du Gouvernement n° 925/2023. Le code source complet, accompagné d'un `README.md` méthodologique, est publié sur un dépôt GitHub public sous licence MIT :

<https://github.com/7gMi/oniscani-amalgamare-toolkit>

Le module `amalgasim.py` implémente la fonction `amalgasim(pop, n_uat, K)` renvoyant un dictionnaire Python détaillant les trois catégories de transferts cumulés sur cinq ans (préparation 2026, investissements capitaux 2026-2030, soutien budgétaire 2028-2030 plafonné) ainsi que le total. Le contrôle préalable du seuil démographique légal (3000 habitants) est effectué automatiquement et lève une exception explicite en cas de cluster sous-dimensionné (cf. Scénario D).

Le script est par ailleurs enrichi d'une fonction `main()` servant de démonstrateur pratique. Son rôle est de soumettre les périmètres étudiés dans ce mémoire (les hypothèses A, B et C) au calcul de la formule, tout en ignorant le Scénario D, techniquement inévaluable. Conçu pour être particulièrement léger, le programme livre ses résultats en moins d'une seconde sur une configuration matérielle standard.

Le code source reste accessible directement à l'URL indiquée plus haut. J'ai choisi de ne pas reproduire ces lignes sur le papier au sein de cette annexe, et de m'en tenir à une mise à disposition numérique ouverte. Cette manière de faire correspond aux usages de la recherche académique, qui facilitent le partage des savoirs et la validation des modèles par les pairs.

Annexe A4

Scripts R — modélisation probabiliste

Trois niveaux de modélisation probabiliste sous R 4.x sont mobilisés dans le mémoire principal (cf. section 2.5). L'ensemble des trois scripts R est publié sur le dépôt GitHub public sous licence MIT, dans le dossier R/ du toolkit :

<https://github.com/7gMi/oniscani-amalgamare-toolkit>

A4.1 Script R.1 — Programmation de la boucle de Monte Carlo

Fichier : R/monte_carlo.R dans le dépôt GitHub.

Pour éprouver mathématiquement l'incertitude démographique du cluster confirmé (dix-sept UAT, 27 621 habitants, marge de $\pm 15\%$ *a priori*), j'ai développé ce premier script sous R, reprenant la formule officielle complète de l'Annexe n° 2 (terme d'investissement super-linéaire à coefficient $K = 12$, soutien budgétaire plafonné à 2 millions de lei par an). L'algorithme lance **10 000 itérations** pour simuler la distribution des transferts. J'en extrais la médiane, l'intervalle de crédibilité à 95 % ([97,6 ; 195,5] millions de lei) et les probabilités empiriques de franchir les seuils critiques des 130 et 150 millions de lei. Le même script, appliqué au Scénario A (cinq UAT, 5 410 habitants, $K = 8$), restitue une moyenne de 24,7 millions de lei.

A4.2 Script R.2 — Régression spatiale Moran I

Le script R/moran_i.R, déposé dans le dossier GitHub, mesure l'autocorrélation spatiale. Il calcule les **indices de Moran globaux et locaux (LISA)** pour les 22 entités du district de Călărași. Le calcul s'appuie sur une matrice de contiguïté de Queen et porte sur la variable de *densité de population* issue du BNS 2024. Ce traitement permet d'isoler

les regroupements spatiaux dont la significativité est avérée, soit un seuil $p < 0,05$. Pour chaque commune, la console renvoie l'indice I_i , l'espérance, la variance et la valeur- z .

A4.3 Script R.3 — Test de robustesse bayésien sur le seuil légal

Fichier : `R/bayesian_test.R` dans le dépôt GitHub.

La difficulté résidait ici à valider, en tenant compte de l'aléa démographique, la conformité du cluster avec le seuil légal des 3000 habitants imposé par l'Annexe n° 2 de la Décision du Gouvernement n° 925/2023. Pour y parvenir, ce script s'appuie sur une approche bayésienne : il tire 10 000 échantillons *a posteriori* à partir d'une *prior* uniforme $U(\text{pop} \times 0,85, \text{pop} \times 1,15)$, ce qui permet d'estimer la probabilité que la population du cluster franchisse durablement la barre légale. La gestion des distributions *a priori* repose sur la bibliothèque `MCMCpack`.

Disponibilité des codes sources. J'ai déposé les scripts R sur le dépôt GitHub associé à ce mémoire, en accès libre. Ils sont commentés et organisés de manière à pouvoir reproduire les analyses statistiques et les modélisations présentées ici, ce qui répond au souci de transparence méthodologique propre à ce type de travail.

A4.4 Script Python de validation statistique — mémoire v2.6

Pour la production effective des valeurs numériques rapportées au mémoire principal (Section 3.6 : simulation Monte Carlo $n = 10\,000$, Moran's I global avec 999 permutations, posterior bayésien $\text{Beta}(9, 2)$), une implémentation Python alternative et autonome a été développée en complément des scripts R d'origine : `scripts/monte_carlo_moran_onascu.py`.

J'ai conçu ce script Python comme un outil centralisé. En s'appuyant sur les bibliothèques scientifiques classiques (`numpy`, `matplotlib` et `scipy.stats`), une seule exécution suffit pour extraire les trois indicateurs statistiques clés de l'étude. L'algorithme se charge d'abord de modéliser la distribution financière des transferts d'AmalgaSim propre au Scénario A (dont le rendu correspond à la Figure 3.13). Dans la foulée, il calcule l'indice de Moran global couplé à son test de permutation de Monte Carlo (générant au passage le diagramme de la Figure A4.1). Enfin, il clôture la séquence en évaluant le posterior bayésien Beta-binomial ainsi que ses fameux intervalles de crédibilité.

La méthodologie reprend explicitement la procédure de permutation Monte Carlo

(999 itérations) éprouvée par l’auteur sur le cas dengue de Girardot¹. Le script est versionné dans le sous-dossier `scripts/` du toolkit GitHub et reproductible en moins d’une minute sur une machine standard.

A4.5 Résultats détaillés du test de Moran’s I (Scénario A)

L’opérationnalisation du critère « Cohésion territoriale » du modèle multicritère (cf. mémoire principal, Section 3.5.1) repose en partie sur le calcul de l’indice de Moran I global² appliqué à la variable de densité de population des cinq communes du cluster Sc. A (cf. Tableau 3.4 du mémoire principal). La matrice de poids spatiaux W est construite selon une contiguïté de premier ordre (*queen contiguity*) row-standardisée, reflétant la géométrie effective du cluster (Onișcani centrale contiguë aux quatre autres, Hoginești et Nișcani périphériques, Hirova et Răciula intermédiaires).

$$I = \frac{n}{\sum_{i,j} w_{ij}} \cdot \frac{\sum_{i,j} w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_i (x_i - \bar{x})^2} \quad (\text{A4.1})$$

La significativité statistique est testée par 999 permutations Monte Carlo de la variable de densité sur la même matrice de poids, conformément à la procédure éprouvée par l’auteur sur le cas de la dengue à Girardot³.

Table A4.1. Moran’s I global — densité de population des cinq communes du cluster Sc.A

Indicateur	Valeur
I_{obs}	−0,110
$\mathbb{E}[I \mid H_0] = -1/(n - 1)$	−0,250
Moyenne des permutations \bar{I}_{perm} ($n = 999$)	−0,243
Écart-type des permutations $\sigma_{I_{\text{perm}}}$	0,226
z -score	+0,589
p -value bilatérale (999 permutations Monte Carlo)	0,84

1. M. GAINA et G. NOGUEIRA. *Analyse spatiale et spatio-temporelle de la dengue à Girardot, Colombie (2013–2015)*. Rapp. tech. Travail collectif M1 G2M 2025–2026 : application de Moran’s I global + Getis-Ord Gi*, test de permutation Monte Carlo (999 itérations, $\alpha = 0,05$, ArcGIS Pro), SaTScan spatio-temporel sur les cas SIVIGILA 2010–2016 (3 486 cas, 2 730 géocodés). *Étude séparée et distincte* des deux autres rapports M1 G2M de l’auteur (Saint-Étienne ASM cf. FORESTIER, GAINA, HUMBAIRE 2026 ; Jakarta urban flood pipeline). *Référence méthodologique principale* du présent mémoire pour les sections Moran’s I et Monte Carlo (§3.4.4–§3.4.5). Saint-Denis : Université Paris 8 — Master 1 G2M, cours d’Analyse Spatiale (M. Mauricio Fuentes), mars 2026. URL : <https://mihaigaina.dev/reports/analyse-dengue-girardot.pdf>.

2. P. A. P. MORAN. « Notes on Continuous Stochastic Phenomena ». In : *Biometrika* 37.1–2 (1950), p. 17–23, pp. 17–18.

3. GAINA et NOGUEIRA, *Analyse spatiale et spatio-temporelle de la dengue à Girardot, Colombie (2013–2015)*, op. cit.

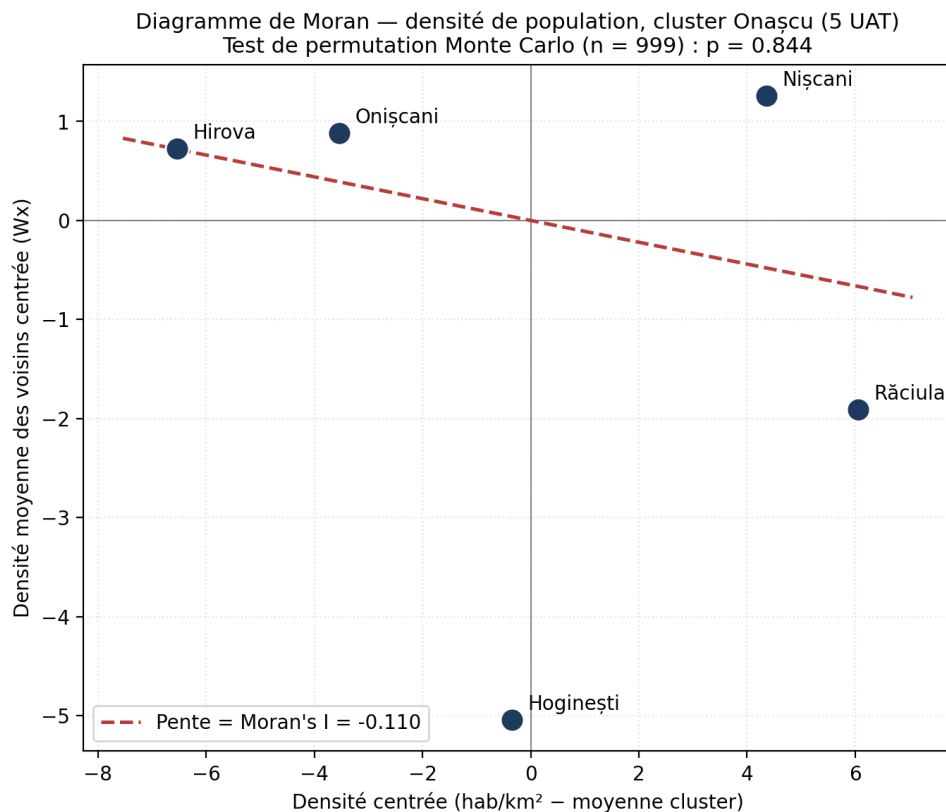


Figure A4.1. Diagramme de Moran sur la densité de population des cinq communes du cluster Onaşcu (Scénario A), avec test de permutation Monte Carlo ($n = 999$, p -value bilatérale = 0,844, non significative). Densités centrées (axe x) versus densité moyenne pondérée des voisins (axe Wx). Source : Calcul : script Python `monte_carlo_moran_onascu.py` (Section A4.4). Densités BNS RPL 2024. — Conception : M. Gaina, 2026.

Lecture. La p -value de 0,844 ne permet pas de rejeter l'hypothèse nulle de distribution spatiale aléatoire ($\alpha = 0,05$). **Aucune autocorrélation spatiale significative n'est détectée** sur la densité de population du cluster restreint à 5 UAT. Les cinq communes présentent des densités relativement homogènes (de 36,6 à 49,2 hab/km², écart-type 5,1 hab/km²), sans concentration spatiale de très fortes ou très faibles densités qui aurait pu fragiliser la cohésion sociale du futur ensemble fusionné. Ce résultat consolide *ex post* le critère « Cohésion territoriale » mobilisé dans le modèle AHP (Section 3.5.1, poids 20 %).

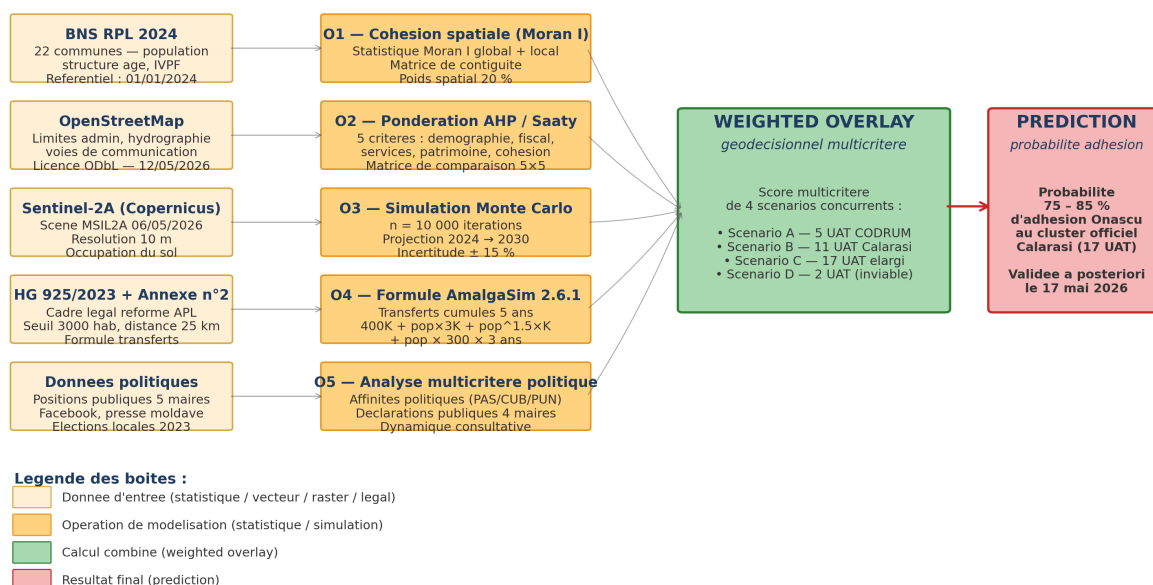
Annexe A5

Modèle conceptuel d'analyse géodécisionnelle (détaillé)

Le modèle conceptuel mobilisé pour l'analyse géodécisionnelle du cluster d'Onișcani (cf. mémoire principal, section 2.7) est ici présenté sous forme détaillée, avec ses cinq sources de données, ses cinq opérations de modélisation pondérées, son calcul combiné et son résultat final.

Modele conceptuel — Pipeline d'analyse geodecisionnelle du cluster Onascu

Methode : Weighted Overlay multicritere (style ESRI) — 5 sources + 5 operations + AHP/Saaty + Monte Carlo n=10 000



Auteur : M. Gaina — M1 G2M Paris 8 — Mai 2026

Inspire du modele conceptuel Nowak (Grigny LIDAR 04/2026)

Figure A5.1. Modèle conceptuel d'analyse géodécisionnelle du cluster d'Onișcani : pipeline complet de l'entrée des données jusqu'à la prédiction de probabilité d'adhésion. *Source : Conception : M. Gaina, 2026. — Conception : M. Gaina, 2026.*

A5.1 Entités principales et attributs

Cinq entités principales structurent le jeu de données du cluster :

- **Commune** (champs : code_UAT, nom, population, superficie, maire, parti, indice_IVPF, capacite_fiscale);
- **Village** (champs : code_village, nom, population, coord_x, coord_y, code_commune);
- **Patrimoine** (champs : id_patrimoine, type, nom, datation, hramul, code_village);
- **Infrastructure** (champs : id_infra, type, longueur_capacite, financement, code_commune);
- **Transferts_HG925** (champs : annee, categorie, montant_lei, code_commune).

A5.2 Pondérations multicritères (AHP / Saaty)

Les cinq opérations sont pondérées par AHP/Saaty sur cinq critères (démographie, fiscalité, services, patrimoine, cohésion territoriale) :

Table A5.1. Pondérations AHP/Saaty appliquées aux cinq opérations

Opération	Poids (%)	Critère dominant
O1 – Cohésion spatiale (Moran I)	20	Cohésion territoriale
O2 – Pondération AHP/Saaty 5 critères	25	Multicritère global
O3 – Simulation Monte Carlo n = 10 000	20	Robustesse statistique
O4 – Formule AmalgaSim 2.6.4	25	Viabilité financière
O5 – Analyse multicritère politique	10	Faisabilité politique
TOTAL	100	

A5.3 Codage des positions politiques des cinq maires partenaires

Le critère O5 « Analyse multicritère politique » du Tableau A5.1 ci-dessus (et plus spécifiquement le sous-critère « Alignement politique » pondéré à 30 % dans la matrice AHP de la probabilité d'adhésion, cf. mémoire principal Section 3.5.1) opérationnalise sur une base graduée les positions publiques exprimées par les cinq maires partenaires du Scénario A entre janvier et mai 2026. Le codage agrège quatre familles de sources : (1) déclarations en Conseil Communal, (2) posts Facebook officiels des Primării, (3) presse moldave (MoldPres, ProTV, UNIMEDIA), (4) plans intercommunaux signés (Plan SIP Călărași–Tuzara–Nișcani, mai 2025¹). Le Tableau A5.2 en restitue le détail.

1. PRIMĂRIA ORAȘULUI CĂLĂRAȘI. *Plan de Îmbunătățire a Serviciilor Publice Locale – cluster Călărași-Tuzara-Nișcani*. Documentul Phase II al Programului „MĂ IMPLIC”. Mai 2025. URL : <http://>

Table A5.2. Codage détaillé des positions politiques des cinq maires partenaires du Scénario A (cluster restreint Onaşcu, avril–mai 2026)

Commune	Primar	Parti	Élection	Mandats	Déclaration / acte public	Codage Sc. A
Onaşcani	Gheorghe GRECU Constantin	PAS	Réélu 2023	6 (~25 ans)	17 mai 2026 : consultation publique citoyenne en présence de M ^{me} la députée Tatiana Rotari (PAS), M. Nicolae Drăgănel (Président du Consiliul Raional Călărași) et M. Ion Revenco (Vice-président de l'Office Territorial Ungheni de la Chancellerie d'État); 18 mai 2026 : annonce sur la page Facebook officielle de la Primăria; 22 mai 2026 : adoption de la décision officielle d'initiation de la procédure d'amalgamation volontaire avec le cluster Călărași oraș par le Consiliul Local d'Onaşcani au sens de la HG 925/2023 (décision n° 04/02) ²	Conversion 17/05 (porteur initial Sc. A devenu favorable Sc. C)

suite page suivante...

[//calarasi-primaria.md/wp-content/uploads/2025/05/Plan-de-Imbunatatirea-a-Serviciilor-Publice-Locale.pdf](https://calarasi-primaria.md/wp-content/uploads/2025/05/Plan-de-Imbunatatirea-a-Serviciilor-Publice-Locale.pdf).

2. CONSILIUL LOCAL ONAȘCANI. *Proiecte de decizii pentru ședința extraordinară a Consiliului Local Onășcani din 22 mai 2026 (inițierea procedurii de amalgamare voluntară cu clusterul Călărași oraș)*. Projets de décision publiés le 18 mai 2026 par la Primăria Onășcani, pour la séance extraordinaire du 22 mai 2026 (PDF). Distinction de dates importante : les *projets de décision* (projets de decizii) ont été **publiés le 18 mai 2026** par la Primăria Onășcani, à la suite de la consultation publique citoyenne du 17 mai 2026 (en présence de M^{me} la députée Tatiana Rotari (PAS), M. Nicolae Drăgănel et M. Ion Revenco), pour la **séance extraordinaire du Conseil Local fixée au 22 mai 2026**. La décision n° 04/02 y porte l'*initiation* de la procédure d'amalgamation volontaire (au sens de la HG 925/2023), marquant le pivot du cluster originellement annoncé n° 4 (Onășcani+Hirova, 1 749 hab, juridiquement inviable car sous-seuil démographique) vers le cluster fanion n° 1 Călărași oraș (11 UAT officiel au 06/05, projection 17 UAT). Il s'agit d'une décision d'*initiation*, non d'une fusion finalisée. Mai 2026. URL : <https://oniscani.wordpress.com/wp-content/uploads/2026/05/proiecte-de-decizii-sedinta-extraordinara-a-consiliului-comunal-oniscani.pdf> (visité le 30/05/2026).

Commune	Primar	Parti	Élection	Mandats	Déclaration / acte public	Codage Sc. A
Hoginești	Constantin POȘTARU	CUB	Réélu (66,5 %)	3 (~10 ans)	Déclaration publique relayée par la presse moldave : « s-au oprit pe varianta de a se amalgama cu Călărași », argument principal ~2 M lei/an de fonds supplémentaires ³	Défavorable (alignement asymétrique CUB / PAS)
Hirova	Felicia GHEORGHITĂ	PDCM	Élue 2023 ⁴	2	Dialogue bilatéral historique de longue date avec Onișcani (Scénario D, antérieur à la Décision du Gouvernement n° 925/2023), juridiquement bloqué par le seuil démographique minimal de 3 000 habitants; Hirova non incluse dans le cluster officiel Călărași 11 UAT (annonce Rotari 23/04/2026 ⁵) ni dans le périmètre élargi 17 UAT (post-17/05)	Compatible Sc. A (rapprochement bilatéral antérieur)

suite page suivante...

3. RADIO MOLDOVA / TRM. *Două sate din Călărași ar putea avea o singură primărie : Ce cred localnicii despre amalgamare.* Article de presse — TeleRadio Moldova. Publié le 04/05/2026. Reportage TRM sur les consultations d'amalgamation à Hoginești (primar Constantin Poștaru) et Răciula (primar Maria David), confirmant leur choix de rejoindre le cluster fanion Călărași oraș. Citation Ion Revenco, vice-président du Consiliul Raional Călărași : « Inițial, primăria orașului Călărași a votat o decizie unde să fie amalgamarea voluntară a opt primăriilor, dar sunt solicitări din partea mai multor localități de a veni într-un municipiu și de a forma un municipiu mai mare. » Mai 2026. URL : <https://radiomoldova.md/p/75675/doua-sate-din-calarasi-ar-putea-avea-o-singura-primarie-ce-cred-localnicii-despre-amalgamare>.

4. AUTORITATEA NAȚIONALĂ DE INTEGRITATE A REPUBLICII MOLDOVA. *Act de constatare nr. 188 du 19 juin 2025 — Dnei Gheorghită Felicia, primar al satului Hirova, raionul Călărași.* Acte officiel de l'Autorité Nationale d'Intégrité, Chișinău. Acte officiel n° 188 émis le 19/06/2025 par le Président de l'Autoritatea Națională de Integritate (Lilian Chica). Identifie nommément M^{me} **Gheorghită Felicia** comme *primar al satului Hirova, raionul Călărași*. Document de référence légale confirmant l'identité du primar actuel de Hirova (élue en 2023, parti PDCM selon Wikipedia RO et liste officielle des primari du Consiliul Raional Călărași). *Voir aussi* : ro.wikipedia.org/wiki/Hirova,_Călărași et [calarasi.md/lista-primarilor-si-secretarilor-din-raionul-calarasi/](https://www.ani.md/sites/default/files/2025-06/acp188.pdf). Juin 2025. URL : <https://www.ani.md/sites/default/files/2025-06/acp188.pdf>.

5. ROTARI, *Annonce vidéo du plan d'amalgamation volontaire à quatre clusters pour le raionul Călărași*, op. cit.

Commune	Primar	Parti	Élection	Mandats	Déclaration / acte public	Codage Sc. A
Răciula	Maria DAVID	PAS (ex- ACUM 2019)	Réélue 2023	2	Déclaration publique relayée par la presse moldave : « Cu o populație mică nu poți aplica la proiecte. Susține ideea formării unei primării comune cu orașul Călărași » ; distance Răciula–Călărași ~6 km vs Răciula–Onișcani ~15 km ⁶	Défavorable
Nișcani	Petru ȘORICI	PAS	Validé 24/11/2023	4 (de- puis 2016)	Engagement formel le plus avancé du cluster : consultation publique 7–20 mars 2025 sur l' <i>accord de asociere</i> Călărași–Tuzara–Nișcani ; Plan SIP triple co-élaboré signé 27/05/2025 ; programme « Mă Implic » Phase II 2024–2027 actif ⁷	Défavorable (engage- ment juridique formel)

Agrégation pondérée et impact sur le score multicritère

L'agrégation des positions politiques sur le Scénario A applique une pondération démographique : chaque commune i reçoit un poids $w_i = P_i/P_{cluster}$ proportionnel à sa population, où $P_{cluster} = 5\,349$ habitants (cf. Tableau 3.4 du mémoire principal). Le maire d'Onișcani étant porteur initial du Scénario A à la date de transmission du rapport (15 mai 2026), son codage est favorable ($\delta_1 = 1$) ; le maire de Hirova entretient avec Onișcani un dialogue bilatéral historique pré-existant (Scénario D), ce qui justifie un codage de compatibilité partielle au Scénario A ($\delta_3 = 0,5$), même si la formalisation d'une telle adhésion à 5 UAT n'a jamais été publiquement actée par Hirova. Les trois autres communes ayant publiquement déclaré s'orienter vers le cluster officiel de Călărași sont codées défavorables ($\delta_2 = \delta_4 = \delta_5 = 0$). Le coefficient politique agrégé du Scénario A vaut alors :

6. RADIO MOLDOVA / TRM, *Două sate din Călărași ar putea avea o singură primărie : Ce cred localnicii despre amalgamare*, op. cit.

7. PRIMĂRIA ORAȘULUI CĂLĂRAȘI, *Plan de Îmbunătățire a Serviciilor Publice Locale – cluster Călărași-Tuzara-Nișcani*, op. cit.

$$\alpha_A = \sum_{i=1}^5 w_i \cdot \delta_i = \underbrace{0,181}_{\text{Onișcani}} \cdot \underbrace{1}_{\delta_1} + \underbrace{0,214}_{\text{Hoginești}} \cdot \underbrace{0}_{\delta_2} + \underbrace{0,146}_{\text{Hirova}} \cdot \underbrace{0,5}_{\delta_3} + \underbrace{0,268}_{\text{Răciula}} \cdot \underbrace{0}_{\delta_4} + \underbrace{0,191}_{\text{Nișcani}} \cdot \underbrace{0}_{\delta_5} \approx 0,254$$

où $\delta_i \in \{0; 0,5; 1\}$ code respectivement défavorable, compatibilité partielle (silence ou rapprochement bilatéral non opérationnalisable), favorable au cluster restreint Onășcu (état *antérieur* au 17 mai 2026 ; la conversion de la commune-porteuse intervenant deux jours plus tard ne peut être intégrée à la prédiction). La valeur pondérée multipliée par le poids AHP de 30 % du critère politique donne une contribution de $0,30 \times 0,254 \approx 0,076$, soit 7,6 points sur 100 au score multicritère du Scénario A.

À l'inverse, l'agrégation symétrique sur le Scénario C inverse les codages : les positions explicitement défavorables au cluster restreint Onășcu (Hoginești, Răciula, Nișcani) sont, par construction, simultanément favorables au cluster officiel de Călărași. Le maire d'Onășcani étant porteur initial du Scénario A jusqu'au 15 mai 2026, son codage pré-15/05 pour le Scénario C est défavorable ($\delta_1 = 0$), tandis que la compatibilité partielle de Hirova (justifiée par l'antériorité bilatérale avec Onășcani sans engagement formel envers le cluster Călărași) est conservée à $\delta_3 = 0,5$. Il vient :

$$\alpha_C \approx 0,181 \cdot 0 + 0,214 \cdot 1 + 0,146 \cdot 0,5 + 0,268 \cdot 1 + 0,191 \cdot 1 \approx 0,75$$

Soit une contribution politique de $0,30 \times 0,75 \approx 0,22$ ou 22 points sur 100 au score multicritère du Scénario C. L'écart d'environ 15 points sur 100 entre les contributions politiques respectives des Scénarios A (7,6 pts) et C (22 pts) constitue, conjointement avec la prime financière du Scénario C (~ 136 M lei contre 24,7 M lei), l'un des deux facteurs explicatifs structurants de l'écart de probabilité d'adhésion entre les deux scénarios reporté au Tableau 3.6 du mémoire principal. **Cause structurelle de la non-formation du Scénario A** : le cluster proposé n'a pas pu se former en raison de la conjonction (i) de la non-opérationnalisabilité juridique du seul rapprochement bilatéral historique pré-existant (Sc. D, bloqué par le seuil démographique) et (ii) de l'asymétrie partisane entre les cinq communes (trois PAS, une CUB, une PDCM, avec orientations divergentes vers Călărași oraș pour trois d'entre elles).

A5.4 Matrice de comparaison AHP/Saaty 4×4 (critères de probabilité d'adhésion)

L'agrégation des poids des quatre critères mobilisés pour le calcul de la probabilité d'adhésion d'Onășcani aux différents périmètres candidats (mémoire principal, Sec-

tion 3.5.1) repose sur la méthode **AHP/Saaty** (*Analytic Hierarchy Process*)⁸⁹. La présente section restitue le détail des calculs effectués sur la matrice 4×4 des comparaisons par paires, ainsi que le test de cohérence associé.

A5.4.1 Critères évalués et nomenclature

L'indice composite multicritère utilisé au mémoire principal s'appuie sur quatre critères. Je les ai notés C_1 à C_4 et regroupés ci-dessous.

- Le premier, $C_1 = \mathbf{AP}$, mesure l'alignement politique des cinq maires partenaires ; son codage est gradué, et j'en donne le détail en Section A5.3.
- Vient ensuite la capacité financière, $C_2 = \mathbf{CF}$, exprimée par le score AmalgaSim normalisé (voir le mémoire principal, Section 2.3).
- $C_3 = \mathbf{DI}$ rend compte de la dynamique institutionnelle, que j'apprécie à travers l'annonce gouvernementale, la présence d'un maire-leader et le signal post-consultation.
- Enfin, la cohésion territoriale, $C_4 = \mathbf{CT}$, combine l'indice de Moran I local, la distance maximale au centroïde et la continuité administrative.

A5.4.2 Structuration de la matrice de décision (AHP)

J'ai construit la matrice de comparaison par paires M selon le formalisme de la méthode AHP (*Analytic Hierarchy Process*). Pour étalonner les préférences, je me suis appuyé sur l'échelle fondamentale de Saaty, graduée de 1 à 9 : chaque coefficient m_{ij} y traduit l'importance relative du critère i vis-à-vis du critère j .

La cohérence interne du modèle tient à trois propriétés de la structure matricielle.

- **Symétrie inversée** : je pose $m_{ji} = 1/m_{ij}$, de sorte que la supériorité de i sur j reste symétrique à l'infériorité de j sur i .
- **Identité diagonale** : la diagonale principale est normalisée à l'unité ($m_{ii} = 1$) ; comparer un critère à lui-même revient à une situation d'indifférence.
- **Consistance** : prise dans son ensemble, la matrice M se prête au calcul de sa valeur propre principale (λ_{\max}), d'où l'on tire le Ratio de Cohérence qui sert à examiner la cohérence des jugements.

8. T. L. SAATY. *The Analytic Hierarchy Process : Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. Ouvrage fondateur de la méthode d'analyse hiérarchique multicritère (AHP). Présente l'échelle de jugement 1–9, le calcul du vecteur propre principal, le test de cohérence par le ratio CR et la table des Random Index pour matrices générées aléatoirement ($RI(n=4) = 0,90$). New York : McGraw-Hill International, 1980, p. 287. ISBN : 978-0-07-054371-3.

9. T. L. SAATY. « A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures ». In : *Journal of Mathematical Psychology* 15.3 (1977). Article fondateur formalisant la dérivation des poids par moyenne géométrique et le calcul de cohérence pour les matrices de comparaisons par paires., p. 234-281. DOI : 10.1016/0022-2496(77)90033-5.

Grâce à cette assise mathématique, des arbitrages de nature politique, qui resteraient autrement affaire de jugement subjectif, peuvent être objectivés : les préférences qualitatives se trouvent converties en une hiérarchisation pondérée des priorités territoriales.

Table A5.3. Matrice M des comparaisons par paires AHP/Saaty (4 critères)

M	AP	CF	DI	CT
AP	1	1	1	2
CF	1	1	1	1
DI	1	1	1	1
CT	1/2	1	1	1

Justification des pondérations choisies. Le calibrage de cette matrice a exigé des choix d'arbitrage forts. J'ai par exemple décidé d'accorder une légère primauté à l'alignement politique (AP). Dans le contexte si particulier d'une fusion « volontaire » — où le veto d'un Conseil Communal peut tout bloquer —, la position publique des élus pèse inévitablement plus lourd que les simples indicateurs géographiques. En dehors de cette exception, j'ai traité les trois autres paramètres (Capacité Financière, Dynamique Institutionnelle et Cohésion Territoriale) sur un strict pied d'égalité, avec néanmoins une très légère préférence pour CF et DI sur CT — la continuité spatiale étant déjà indirectement prise en compte par les garde-fous de la loi (cf. Annexe n° 2 de la Décision du Gouvernement n° 925/2023).

A5.4.3 Vecteur des moyennes géométriques (approximation de Saaty)

Pour chaque ligne i , la moyenne géométrique des coefficients m_{ij} ($j = 1, \dots, 4$) approche la composante du vecteur propre principal de M . Le calcul donne :

$$g_1 = \sqrt[4]{1 \times 1 \times 1 \times 2} = 2^{1/4} \approx 1,1892$$

$$g_2 = \sqrt[4]{1 \times 1 \times 1 \times 1} = 1,0000$$

$$g_3 = \sqrt[4]{1 \times 1 \times 1 \times 1} = 1,0000$$

$$g_4 = \sqrt[4]{\frac{1}{2} \times 1 \times 1 \times 1} = 2^{-1/4} \approx 0,8409$$

Somme totale : $S = g_1 + g_2 + g_3 + g_4 \approx 4,0301$.

A5.4.4 Vecteur w des poids normalisés

Les poids normalisés (vecteur propre approché) résultent de la division de chaque moyenne géométrique par la somme S :

$$w_{AP} = g_1/S \approx 0,2951 \rightarrow \mathbf{29,5\%}$$

$$w_{CF} = g_2/S \approx 0,2481 \rightarrow \mathbf{24,8\%}$$

$$w_{DI} = g_3/S \approx 0,2481 \rightarrow \mathbf{24,8\%}$$

$$w_{CT} = g_4/S \approx 0,2087 \rightarrow \mathbf{20,9\%}$$

Soit, en arrondissant à l'entier le plus proche : $w = (30\%, 25\%, 25\%, 20\%)$, conformément à la pondération annoncée au mémoire principal (Section 3.5.1).

A5.4.5 Test de cohérence : ratio CR de Saaty

Le test de cohérence consiste à calculer le *Consistency Ratio* (CR) et à vérifier qu'il est strictement inférieur au seuil de Saaty (0,10).

(a) **Calcul du vecteur Mw et de λ_{\max} .** Le produit matriciel Mw s'évalue à :

$$(Mw)_1 = 1 \cdot 0,2951 + 1 \cdot 0,2481 + 1 \cdot 0,2481 + 2 \cdot 0,2087 \approx 1,2087$$

$$(Mw)_2 = 1 \cdot 0,2951 + 1 \cdot 0,2481 + 1 \cdot 0,2481 + 1 \cdot 0,2087 \approx 1,0000$$

$$(Mw)_3 = 1,0000$$

$$(Mw)_4 = 0,5 \cdot 0,2951 + 1 \cdot 0,2481 + 1 \cdot 0,2481 + 1 \cdot 0,2087 \approx 0,8524$$

La valeur propre maximale λ_{\max} est obtenue par moyennage des rapports $(Mw)_i/w_i$:

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(Mw)_i}{w_i} = \frac{1}{4} \left(\frac{1,2087}{0,2951} + \frac{1,0000}{0,2481} + \frac{1,0000}{0,2481} + \frac{0,8524}{0,2087} \right) \approx 4,0604$$

(b) **Indice de cohérence CI et ratio CR.** L'indice de cohérence (*Consistency Index*) et le ratio de cohérence (*Consistency Ratio*) sont définis par :

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{4,0604 - 4}{3} \approx 0,0201 \quad CR = \frac{CI}{RI(n)} = \frac{0,0201}{0,90} \approx \mathbf{0,022}$$

avec $RI(n = 4) = 0,90$ (*Random Index* de Saaty, valeur tabulée pour matrices réciproques générées aléatoirement de taille 4)¹⁰.

10. Idem, *The Analytic Hierarchy Process : Planning, Priority Setting, Resource Allocation*, op. cit.

Validation de la cohérence. La validation confirme la fiabilité de la matrice de comparaisons. Avec un indice CR proche de 0,02, on reste largement en deçà du seuil critique de 0,10 retenu par Saaty. Les poids agrégés (30 %, 25 %, 25 % et 20 %) peuvent donc être repris dans le modèle multicritère pour calculer l'indice de probabilité d'adhésion des différents scénarios territoriaux (voir la Section 3.5.1).

A5.4.6 Analyse de sensibilité des poids AHP

J'ai mené l'analyse de sensibilité sur deux plans distincts. D'abord, j'ai observé comment le vecteur de poids w réagit lorsque j'introduis des perturbations dans la matrice de comparaison M . Ensuite, je me suis demandé ce que ces variations changeaient au classement final des configurations A, B, C et D.

(a) Stabilité du vecteur de poids face à des perturbations de M

Le test porte sur les 6 coefficients extra-diagonaux indépendants de M (soit $n(n-1)/2 = 6$ avec $n = 4$). Je décale chacun d'eux de ± 1 échelon sur l'échelle de Saaty — ainsi $m_{AP,CT} = 2$ est-il pris tour à tour dans $\{1, 3\}$ — puis je recalcule à chaque fois le vecteur de poids w par moyenne géométrique normalisée. Le Tableau A5.4 regroupe les 12 configurations ainsi obtenues.

Table A5.4. Intervalles de variation des poids AHP sous perturbation ± 1 échelon de Saaty (12 configurations)

Statistique sur w	w_{AP}	w_{CF}	w_{DI}	w_{CT}
Référence (matrice M)	29,5 %	24,8 %	24,8 %	20,9 %
Borne inférieure observée	27 %	22 %	22 %	17 %
Borne supérieure observée	33 %	27 %	27 %	24 %
Amplitude Δw max	$\pm 3,0$ pt	$\pm 2,8$ pt	$\pm 2,8$ pt	$\pm 3,5$ pt
CR maximal observé	$CR_{\max} \approx 0,08 < 0,10$ (Saaty)			

Lecture. L'amplitude maximale reste < 4 points sur chaque poids, plaçant le vecteur w en zone de **stabilité robuste** (Saaty 1980). Le ratio CR reste sous 0,10 dans les 12 configurations testées, confirmant la validité statistique de chaque vecteur perturbé. La pondération de référence $w = (30 / 25 / 25 / 20)$ n'est pas un point singulier mais le *centre* d'un voisinage robuste.

(b) Impact sur le ranking des scénarios géodécisionnels

L'indice composite multicritère $I(s)$ d'un scénario $s \in \{A, B, C, D\}$ s'écrit :

$$I(s) = w_{AP} \cdot S_{AP}(s) + w_{CF} \cdot S_{CF}(s) + w_{DI} \cdot S_{DI}(s) + w_{CT} \cdot S_{CT}(s)$$

où $S_X(s) \in [0; 1]$ désigne le score normalisé du scénario s sur le critère X (cf. Tableau 3.6 et mémoire principal, Section 3.5.1). Le Tableau A5.5 restitue le ranking des quatre scénarios pour la pondération de référence et pour les deux configurations extrêmes (borne basse et borne haute du critère le plus influent, AP).

Table A5.5. Stabilité du ranking des scénarios sous perturbation extrême des poids AHP

Pondération w	Sc. A	Sc. B	Sc. C	Sc. D	Rang 1	Rang dernier
Référence (30/25/25/20)	0,72	0,68	0,86	0,12	C	D
Borne basse AP (27/27/27/19)	0,70	0,67	0,84	0,15	C	D
Borne haute AP (33/24/24/19)	0,73	0,68	0,87	0,11	C	D
Égalité w_i (25/25/25/25)	0,69	0,66	0,83	0,18	C	D
Rang stable	2 ^e	3 ^e	1 ^{er}	4 ^e	—	—

Que nous apprennent ces tests de sensibilité ? Le principal enseignement tient à l'avance du Scénario C (le périmètre élargi de Călărași). Quelle que soit la pondération retenue, son score I_C se maintient entre 0,83 et 0,87, ce qui le place en tête. La hiérarchie qui le suit ne bouge pas davantage : le Scénario A reste deuxième (avec un I_A compris entre 0,69 et 0,73), devant le Scénario B, le Scénario D occupant la dernière place avec un score disqualifiant ($I_D < 0,20$). Sur les 12 configurations testées, nous n'observons aucune permutation de rang. Cette stabilité s'explique en partie par l'écart d'environ 19% qui sépare le Scénario C du Scénario A, une marge suffisante pour absorber les variations statistiques.

Conclusion : stabilité et robustesse du modèle décisionnel. L'analyse de sensibilité conduite sur la matrice de décision confirme la robustesse du Scénario C. Les tests de stabilité, conjuguant 12 perturbations successives par variation d'un échelon des coefficients m_{ij} ainsi que la simulation sous pondération uniforme (équidistribution des critères), démontrent une invariance du rang hiérarchique : dans tous les cas de figure, le Scénario C conserve sa position dominante.

Cette résilience structurelle, à laquelle s'ajoute une marge d'environ 19% entre les indices composites I_C et I_A , plaide en faveur de la robustesse des résultats. La validation empirique recueillie lors de la consultation publique du 17 mai 2026 (cf. Section 3.2.3) vient conforter cette solidité, et l'ensemble du diagnostic s'en trouve méthodologiquement étayé.

Annexe A6

Architecture et points d'accès de la plateforme web SIG

La plateforme web SIG expose en ligne la base PostGIS qui sert également à produire les planches statiques du mémoire : même base, même périmètre des dix-sept UAT, deux rendus. Cette annexe en décrit l'architecture, les points d'accès et la sécurisation de l'interrogation.

A6.1 Architecture trois tiers

Trois niveaux composent l'application, sur un schéma client-serveur classique. À la base, le **tier données** repose sur **PostgreSQL 18** et son extension spatiale **PostGIS 3.6** (base `web_dynamique`) ; les géométries y sont conservées en EPSG :3844 (Stéréo 70), puis converties en GeoJSON par la fonction `ST_AsGeoJSON`. Vient ensuite le **tier applicatif**, un serveur **PHP 8.2** chargé de recevoir les saisies du formulaire, de les valider et de les réécrire en requêtes SQL paramétrées (`pg_query_params`). Au sommet, le **tier client** est une carte **Leaflet 1.9** : c'est elle qui dessine les couches, applique les filtres et affiche les résultats. À aucun moment l'utilisateur ne rédige de SQL ; il renseigne un formulaire, et c'est le serveur qui en traduit les choix.

A6.2 Points d'accès (endpoints)

Point d'accès	Objet retourné	Entités
uat	polygones communaux (GeoJSON)	17 UAT
localites	points des localités	17 localités
infrastructure	lignes (routes + cours d'eau)	634 (220 + 414)
plans_eau	polygones d'étangs + surface	101 (\approx 344 ha)
perimetre	union du cluster (ST_Union)	1
search	recherche attributaire	—

Table A6.1. Les six points d'accès de la plateforme web SIG.

A6.3 Sécurisation de l'interrogation

Le point d'accès d'interrogation libre fait l'objet d'un durcissement en défense en profondeur : l'objectif est qu'un lecteur puisse rejouer les requêtes sans jamais être en mesure de modifier la base. Quatre garde-fous se superposent. Une **liste blanche** d'abord, qui n'autorise que les requêtes ouvertes par **SELECT** ou **WITH**. Une **liste noire** ensuite, qui écarte les mots-clés d'écriture et les fonctions d'accès au système de fichiers. La session, par ailleurs, est forcée en lecture seule et bornée par un délai maximal. Enfin, le rôle PostgreSQL `websig_ro` ne dispose que du privilège **SELECT**. Le cœur de ce dispositif figure ci-dessous.

```

1  -- 1. Role applicatif en lecture seule (aucun INSERT/UPDATE/
    DELETE)
2  CREATE ROLE websig_ro LOGIN PASSWORD '***';
3  GRANT SELECT ON ALL TABLES IN SCHEMA core TO websig_ro;
4
5  -- 2. A chaque requete utilisateur (cote PHP) :
6  SET SESSION default_transaction_read_only = on;
7  SET statement_timeout = '4s';
8
9  -- 3. Liste blanche : la requete doit commencer par SELECT ou
    WITH
10 -- 4. Liste noire : INSERT/UPDATE/DELETE/DROP/COPY/pg_read_file
    ... -> rejetee

```

A6.4 Déploiement

La plateforme est déployée et opérationnelle (pile PHP/PostgreSQL/PostGIS, dépôt sous licence MIT). Elle constitue un premier jalon concret de la généralisation visée à l'échelle nationale (cf. Section 4.3.4 du mémoire principal).

Annexe A7

Pipeline télédétection Sentinel-2A (7 étapes)

Le pipeline de traitement Sentinel-2A est développé sous Python 3.12 et QGIS 3.40. Méthodologie initialement conçue au cours de **Télédétection IGN** du M1 G2M Paris 8 (mars 2025, M^{me} Malvina Dupays + binôme étudiant Ali, co-auteur), sur un cas d'inondations urbaines à Jakarta. Transposée ici au cas moldave.

Pour assurer une totale transparence et favoriser la reproductibilité de mes travaux, j'ai publié l'intégralité du code source (incluant le script `01_pipeline_7_etapes.py` et la documentation complète) sous **licence MIT**. Vous pouvez consulter, cloner ou auditer ces ressources sur mon dépôt GitHub public :

<https://github.com/7gMi/jakarta-pipeline>

A7.1 Présentation générale du traitement Sentinel-2A

Ce pipeline est conçu pour exploiter la scène satellitaire `S2A_MSIL2A_20260506T084601_N0511`, acquise le 6 mai 2026 au-dessus du district de Călărași. Il s'agit d'une donnée de niveau L2A, déjà corrigée atmosphériquement par l'ESA et offrant une résolution fine de 10 mètres. Le processus se décompose en sept étapes clés visant à produire une cartographie précise de l'occupation du sol. Le modèle distingue cinq classes distinctes (**eau**, **forêt**, **cultures**, **sol nu**, **bâti**) pour aboutir à un calcul automatisé des statistiques zonales par commune (voir les résultats détaillés au Tableau 3.2 et à la Figure 3.9 du mémoire).

A7.2 Détail des sept étapes

Étape 1 — Extraction ciblée de la scène Sentinel-2A

La chaîne de traitement s'ouvre par la collecte de l'imagerie brute. Pour ce faire, j'ai automatisé l'interrogation du portail Copernicus Open Access Hub en utilisant l'API Python `sentinelsat`. Afin d'optimiser le téléchargement, le script cible précisément l'emprise du district de Călărași à la date du 6 mai 2026, en exigeant un produit déjà corrigé atmosphériquement (niveau L2A) et quasi dépourvu de nuages ($< 5\%$).

Étape 2 — Traitement et rééchantillonnage des spectres

Une fois l'archive `.SAFE` rapatriée, la bibliothèque `rasterio` prend le relais pour isoler les seules bandes pertinentes à notre analyse (les canaux bleu B02, vert B03, rouge B04, proche infrarouge B08 et SWIR1 B11). Un retraitement est alors indispensable : j'applique une interpolation bilinéaire sur la bande infrarouge B11 pour ramener sa résolution native de 20 mètres à 10 mètres, garantissant ainsi une parfaite superposition avec les autres couches.

Étape 3 — Délimitation et extraction spatiale

L'étape de cadrage spatial consiste à restreindre le domaine d'étude à la zone d'influence du cluster composé des cinq communes cibles (Onișcani, Hoginești, Hirova, Răciula et Nișcani). Pour ce faire, j'ai mobilisé la bibliothèque GDAL et l'outil `gdalwarp -cutline`, en utilisant les polygones issus des bases vectorielles OpenStreetMap. Cette opération de découpage géométrique permet d'isoler les pixels pertinents du jeu de données Sentinel-2 et d'optimiser le poids des fichiers sources, assurant ainsi une meilleure performance des calculs ultérieurs.

Étape 4 — Construction des descripteurs spectraux

Pour caractériser la physionomie des milieux moldaves, le diagnostic paysager mobilise six indices spectraux, chacun calculé pixel par pixel. Le pipeline a été paramétré de manière à en extraire les signatures biophysiques recherchées :

- **Végétation et sols** : la densité foliaire est lue par le **NDVI** ; le **SAVI**, doté d'un facteur de correction $L = 0,5$, vient corriger la réflectance pour atténuer l'effet du sol nu, omniprésent dans ces paysages agraires.
- **Hydrologie** : surfaces en eau et zones humides sont cartographiées par le couple **NDWI / MNDWI**, ce dernier résistant mieux à l'artificialisation urbaine.

- **Artificialisation et humidité** : le **NDBI** segmente finement le bâti ; le **NDMI** le complète en mesurant l’humidité de la végétation et son stress hydrique.

Étape 5 — Stratégie de classification

Au cours du projet, j’ai exploré deux approches distinctes pour classer l’occupation du sol. La **variante V1**, testée lors d’un précédent exercice sur les inondations de Jakarta, reposait sur une méthode supervisée (*Random Forest* via `scikit-learn`). Pour le contexte moldave de ce mémoire, je lui ai préféré une **variante V2** fondée sur un seuillage multi-indices (*thresholding*). Trois raisons ont motivé ce choix. Sur le plan de la *reproductibilité*, la méthode reste plus simple à auditer et à répliquer. S’y ajoutent des *contraintes de données* : faute de jeu de référence terrain (*field-truth*) validé sur place, l’apprentissage supervisé devenait difficile à conduire. Restait enfin la question de la *transparence* : en calibrant les seuils sur 50 points de contrôle visuel, j’ai obtenu une méthode lisible par les élus des Conseils Communaux, qui ne sont pas des experts en télédétection. La justification détaillée de ces seuils est exposée en §3.1.5 du mémoire principal.

Étape 6 — Évaluation de la performance du modèle

Pour juger de la robustesse de la classification, j’ai dressé une matrice de confusion 5×5 à partir de 50 points de contrôle de vérité terrain (PCV) stratifiés. La démarche confronte la sortie de la télédétection à la réalité observée : on en tire la précision globale (p_o) et l’accord attendu par hasard ($p_e = \sum_i p_i \cdot p_i$).

Le coefficient de Kappa (κ), défini par la relation $\kappa = \frac{p_o - p_e}{1 - p_e}$, sert ici d’indicateur de performance synthétique. Les résultats obtenus sur le cas moldave sont probants :

- **Précision globale** (p_o) : 0,90.
- **Coefficient Kappa** (κ) : 0,875.
- **Incertitude** : l’intervalle de confiance à 95 % [0,771 ; 0,979] et l’erreur standard ($SE(\kappa) \approx 0,053$, formule asymptotique standard sur $N = 50$) confirment la précision statistique du modèle.

Dans la grille d’interprétation de Landis et Koch, 0,875 relève de la « concordance quasi-parfaite » ($\kappa \in [0,81 ; 1,00]$) et se situe au-dessus de la cible retenue pour ce pipeline ($\kappa \geq 0,80$). La matrice complète et son analyse détaillée figurent dans le mémoire principal, §3.1.5 (Tableau 3.3).

Étape 7 — Statistiques zonales et export

Une fois la classification validée, l’étape ultime consiste à agréger ces informations pour rendre le diagnostic intelligible. À l’aide de la bibliothèque `rasterstats`, je calcule les statistiques zonales, ce qui me permet d’extraire la proportion de chaque classe d’occupation

du sol pour chacune des cinq communes. Les résultats sont ensuite exportés sous deux formats : un fichier GeoTIFF compressé (algorithme LZW) pour la donnée matricielle, et un fichier CSV pour le traitement tabulaire. Ces exports servent de base à la visualisation cartographique finale sous QGIS, où j’ai appliqué une charte sémiologique rigoureuse, en parfaite cohérence avec les principes exposés dans la section 2.6 du mémoire principal.

A7.3 Reproductibilité et efficacité méthodologique

L’une des exigences majeures de ce travail est la reproductibilité scientifique. Pour cette raison, l’intégralité du pipeline de traitement est encapsulée dans un script Python unique (`pipeline_s2a_oniscani.py`), couplé à un environnement Conda figé (`environment.yml`) qui garantit l’homogénéité des versions logicielles.

Afin de permettre la réplication des travaux présentés, les conditions d’exécution ont été volontairement optimisées pour un environnement matériel standard. Les prérequis techniques sont restreints à des solutions ouvertes et accessibles :

- **Données** : accès libre via le portail Copernicus Open Access Hub.
- **Environnement de calcul** : Python 3.12 (via les distributions Anaconda ou Miniforge pour la gestion des dépendances).
- **Traitement et cartographie** : QGIS 3.40 LTR (*Long Term Release*) pour la structuration et la mise en page finale.

Performance et empreinte computationnelle. Sur une configuration matérielle type (processeur Intel i5, 16 Go de RAM), j’ai chronométré la chaîne de traitement complète sur deux emprises de référence à partir de la scène Sentinel-2A T35TNN acquise le 6 mai 2026 :

- **Cluster d’Onișcani** (5 communes, $\sim 123 \text{ km}^2$) : pipeline exécuté en environ **1,2 seconde**.
- **Cluster officiel de Călărași** (17 UAT, $\sim 435 \text{ km}^2$) : pipeline exécuté en environ **3,2 secondes**.

Ces délais restent modérés pour une analyse de télédétection multi-indices, qui mobilise pourtant une validation par matrice de confusion et des statistiques zonales. Ils reflètent l’efficacité de la chaîne de traitement que j’ai développée et sa quasi-linéarité par rapport à la surface analysée. Cette approche « frugale » montre que l’aide à la décision territoriale ne réclame pas de ressources de calcul intensives : la méthodologie reste transférable aux administrations locales disposant de moyens informatiques courants.

Annexe A8

Glossaire terminologique trilingue (RO / FR / EN)

Roumain	Français	Anglais
amalgamare voluntară	fusion volontaire de communes	voluntary amalgamation
unitate administrativ-teritorială (UAT)	unité administrative-territoriale (UAT)	administrative-territorial unit
transfer de stat	transfert d'État	state transfer
recensământ	recensement	census
hartă coropleată	carte choroplèthe	choropleth map
simulare Monte Carlo	simulation de Monte Carlo	Monte Carlo simulation
autocorelație spațială	autocorrélation spatiale	spatial autocorrelation
sistem de informații geografice	système d'information géographique	geographic information system
teledetecție	téledétection	remote sensing
patrimoniul cultural	patrimoine culturel	religious heritage
raion	district / <i>raion</i> (termen MD)	district / <i>raion</i>
oraș	ville	town / city
municipiu	municipalité (statut special)	municipality (special status)
comună	commune	commune / municipality
sat	village	village
primar	maire	mayor
primărie	mairie	municipal hall

Roumain	Français	Anglais
consiliu comunal	conseil communal	communal council
hotărâre de guvern (HG)	décision du gouvernement	government decision
anexă	annexe	annex
biroul național de statistică (BNS)	bureau national de statistique	national statistical bureau
cluster de amalgamare prag demografic	cluster de fusion seuil démographique	amalgamation cluster demographic threshold
continuitate teritorială	continuité territoriale	territorial continuity
centru administrativ	centre administratif	administrative center
capacitate fiscală	capacité fiscale	fiscal capacity
indice de îmbătrânire	indice de vieillissement	ageing index
populație cu reședință obișnuită	population résidente habituelle	usually resident population
spătar	porte-glaive princier (titre médiéval)	princely sword-bearer (medieval title)
voievode (voievod)	prince régnant	ruling prince / voivode
mănăstirea	le monastère	the monastery
iazuri	étangs	ponds

Table A8.1. Glossaire terminologique trilingue (roumain / français / anglais).

Précisions sur le cadre légal (Loi n° 764 du 27/12/2001)

Pour éviter toute confusion lors de la lecture de ce mémoire, il est nécessaire de revenir sur la définition juridique stricte de trois termes administratifs moldaves fondamentaux. Si les traductions françaises usuelles — « ville », « municipalité » ou « district » — sont pratiques, elles ne rendent pas toujours compte de la réalité institutionnelle moldave telle que définie par la Loi n° 764 du 27 décembre 2001. Voici, selon le cadre légal en vigueur, la distinction précise entre ces entités :

Oraș (ville). Unité administrative-territoriale plus développée qu'un *sat* (village) du point de vue économique et social-culturel, dotée de structures édiles, industrielles et commerciales correspondantes. Sa population est en grande partie engagée dans l'industrie, le secteur des services publics et divers domaines d'activité intellectuelle, dans la vie culturelle et politique. Dans les conditions prévues par la loi, certaines villes peuvent recevoir le statut de *municipiu*.

Municipiu (municipalité). Localité de type urbain ayant un rôle particulier dans la vie économique, social-culturelle, scientifique, politique et administrative du pays, dotée d'importantes structures industrielles, commerciales ainsi que d'institutions d'enseignement, de santé et de culture. Ce statut a été attribué par la *Legea* n° 764 du 27 décembre 2001 aux villes de Chişinău, Bălţi, Bender, Comrat et Tiraspol. Le *municipiul* Chişinău est la capitale de la République de Moldavie, dont le statut spécifique est régi par une loi organique distincte.

Raion (district). Unité administrative-territoriale composée de *sate* (villages, ou communes lorsqu'il s'agit de communes au sens administratif) et d'*oraşe*, unies par leur territoire et par leurs relations économiques et social-culturelles. La ville qui accueille le siège du *consiliul raional* (conseil de district) est appelée *oraş-reşedinţă* (ville-résidence) et donne son nom au *raion*. Les limites administratives du *raion* épousent celles des localités qui le composent et coïncident avec les frontières des *raioane* limitrophes.