

JOURNÉES
SCIENTIFIQUES
ODYSSEE #3

22 mai 2023

Intelligence Artificielle
en Sciences Humaines et
Sociales :

NOUVEAUX OUTILS,
NOUVELLES APPROCHES,
NOUVEAUX OBJETS ?



SCIENCES DE LA SOCIÉTÉ
ET DE L'ENVIRONNEMENT
ÉCOLE UNIVERSITAIRE DE RECHERCHE



UNIVERSITÉ
CÔTE D'AZUR

Intelligence artificielle bayésienne : causalité multivariée dans les systèmes spatiaux

Giovanni FUSCO, Sandra PEREZ
UMR ESPACE, CNRS, Université Côte d'Azur, France

UNIVERSITÉ
CÔTE D'AZUR 


AVIGNON
UNIVERSITÉ



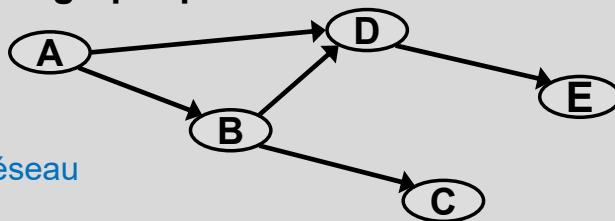
Aix*Marseille
université
Initiative d'excellence



Les Réseaux Bayésiens, modèles d'IA causale

- Etude des systèmes spatiaux : multiplicité de facteurs, chaînes de causalité complexes, présence de facteurs de confusion (science observationnelle), ...
- IA → nouvelle approche, richesse de méthodes plus ou moins aptes à relever ces défis
- RB: à la confluence entre statistiques multivariées et IA (Machine Learning, Systèmes Experts)
- Doivent leurs noms au statisticien anglais Thomas Bayes (XVIII siècle)... mais formalisation théorique récente (J. Pearl 1999, F. Jensen 2001)
- Se fondent sur une approche bayésienne aux probabilités (*a priori* et *a posteriori*, mises à jour au fur et à mesure que des nouvelles informations sont acquises)
- RB un modèle graphique de connaissance causale en probabilité.

Le formalisme graphique



structure du réseau

Le contenu probabiliste associé

Lien A → B

paramètres
du réseau

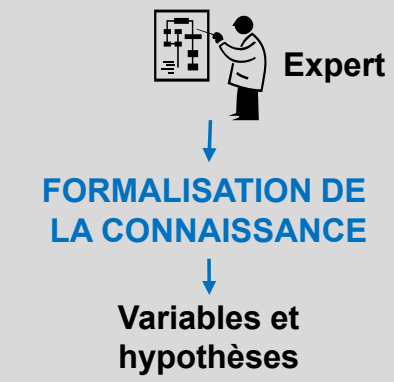
VARIABLE B			
Variable A	[10 20]	[20 40]	[40 60]
[1 8)	0.90	0.08	0.02
[8 12)	0.10	0.50	0.40
[12 20]	0.02	0.18	0.80

Structure et paramètres sont liés
(factorisation du réseau)

$$p(V_1, V_2, \dots, V_n) = \prod_{i=1}^n p(V_i | P(V_i))$$

V_i = i-ème variable du réseau
 $P(V_i)$ = parents de la i-ème variable

Génération et exploitation d'un réseau bayésien à partir d'une base de données

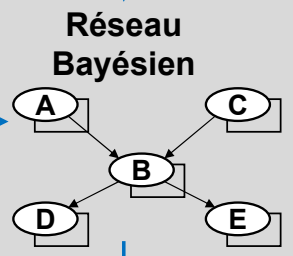


APPRENTISSAGE DES PARAMETRES ET DE LA STRUCTURE

Base d'Exemples

	A	B	C	D	E
1
2
3
4

- Maximum de vraisemblance
- Rasoir d'Ockham

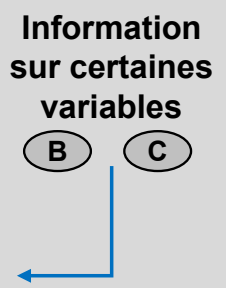
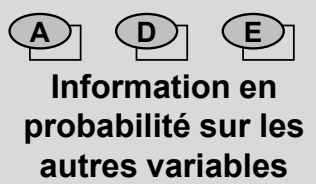


APPRENTISSAGE INCREMENTAL DES PARAMETRES (ET DE LA STRUCTURE)

Nouveaux Exemples

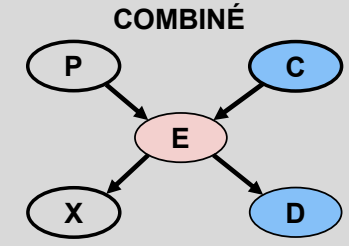
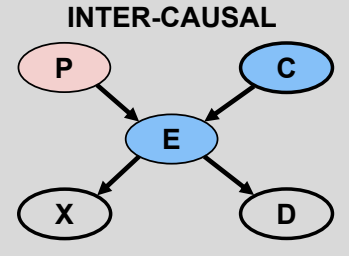
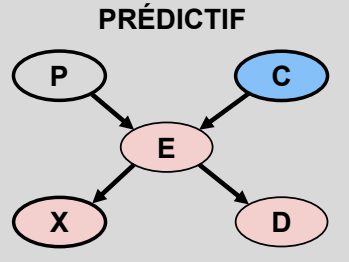
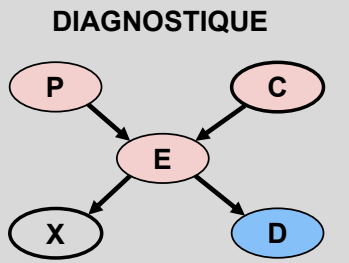
	A	B	C	D	E
5
6

INFERENCE BAYESIENNE DE L'INFORMATION



 évidence
 requête

direction raisonnement ↑



direction raisonnement ↓

Avantages et inconvénients des Réseaux Bayésiens

- Comme les RN et à la différence des SE, possibilité d'apprendre le modèle à partir des données
- Comme les SE et à la différence des RN, possibilité de tracer raisonnement qui a amené à conclusion
- Il s'agit d'un modèle du fonctionnement du système
- Possibilité d'intégrer l'incertitude dans la modélisation
- La structure ne peut pas contenir des boucles (nécessité d'intégrer la dimension temporelle pour prendre en compte les interactions : $A_{t1} \rightarrow B_{t1} \rightarrow A_{t2}$)
- IA qui apprennent modèles à partir d'une base d'exemples capitales pour applications « découverte de connaissance » mais très gourmandes en données.
- Aucune technique n'aborde directement l'interaction spatiale (sauf les AC et de façon rudimentaire). Nées dans d'autres disciplines, introduites en géographie... besoin de développements spécifiques.



+



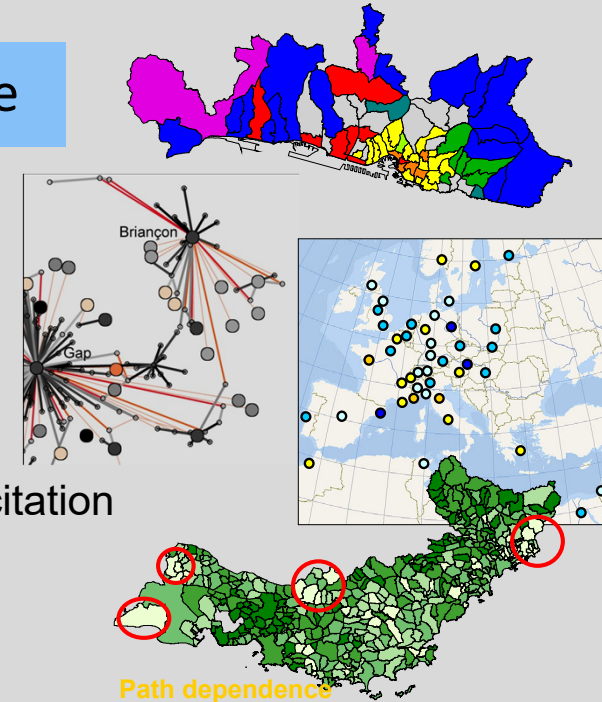
=



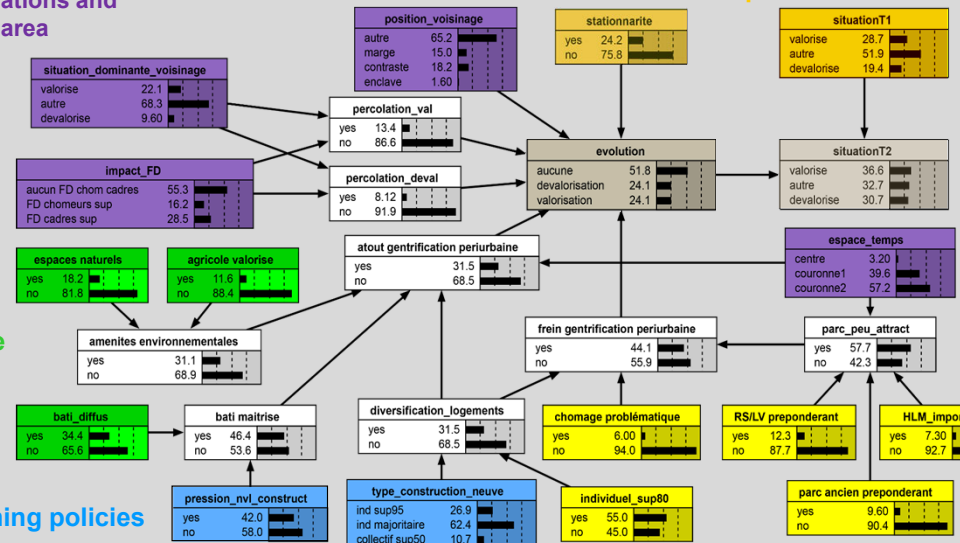
Plus de 20 ans de recherche sur
RB à ESPACE (géographie urbaine
+ géographie de la santé)

20 ans de recherche à ESPACE sur IA bayésienne en géographie urbaine

- l'analyse des grandes agglomérations internationales (Fusco 2004)
- l'analyse intra-urbaine des métropoles de Gênes et de la Côte d'Azur (Fusco 2004)
- l'analyse des dynamiques territoriales à une échelle régionale (Fusco 2008)
- l'évolution des réseaux urbains régionaux (Fusco 2010)
- géo-prospective et modélisation causale probabiliste : intégrer apprentissage et élicitation des connaissances (Fusco 2012, Scarella 2014, Fusco et al. 2015)
- centralité des réseaux et localisation des commerces (Fusco et al. 2015)



Geographic relations and flows in metro area

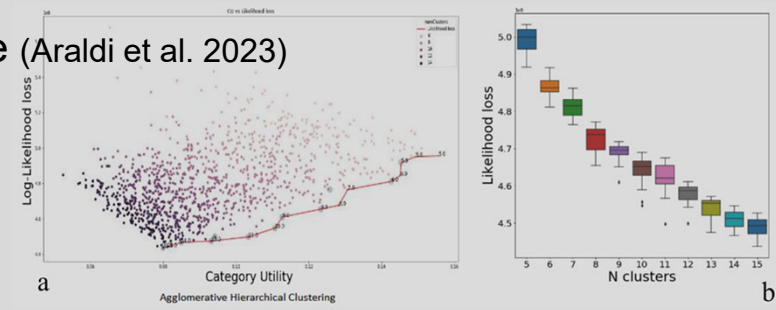
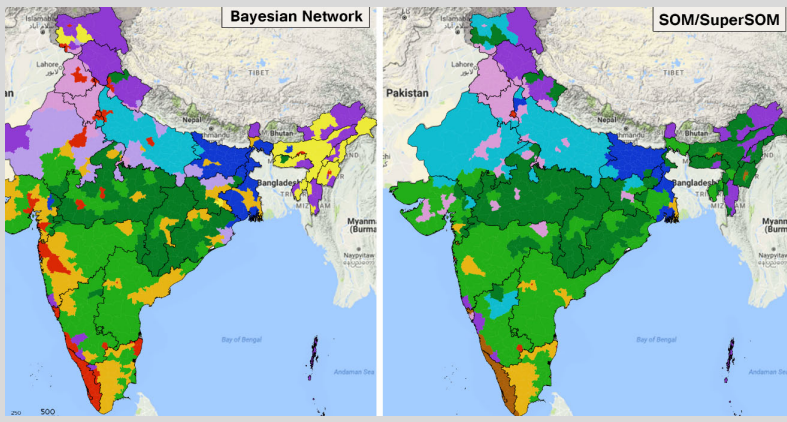
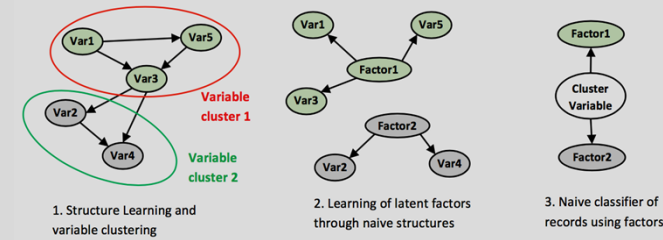
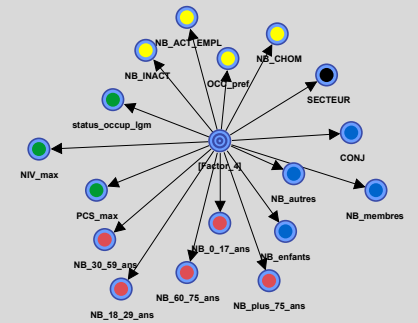


Landscape amenities

Planning policies

20 ans de recherche à ESPACE sur IA bayésienne en géographie urbaine

- affordance spatiale et comportements de mobilité (Fusco 2016)
- clustering incertain de la spécialisation sociale sur la Côte d'Azur (Fusco et Cao 2016)
- approche bayésienne pour la plausibilité des modèles (Fusco et Tettamanzi 2017)
- RB et SOM pour régionalisation de l'Inde (Fusco et Perez 2019)
- RB et géostatistique pour analyse des tissus urbains (Araldi et Fusco 2019)
- La valorisation immobilière des espaces urbains (Venerandi et al. 2019)
- Algorithme bayésien INBIAC pour une typologie des bâtiments en France (Araldi et al. 2023)

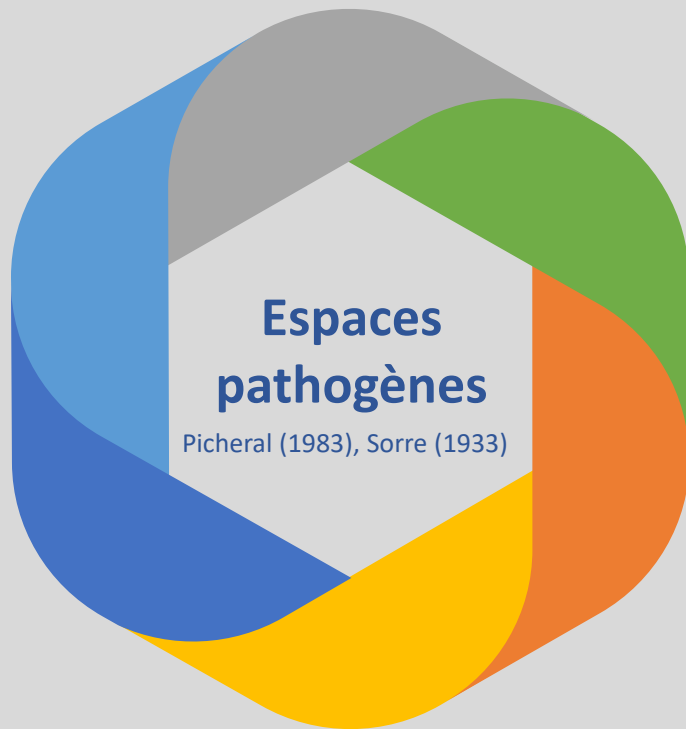


Joint Probability: 14.2857143% Log-Likelihood: 2.807354922 Cases: 15
 Total Value: 1,075,107.464183469 Mean Value: 41,350.28708398

<p>SPATIAL AFFORDANCE Mean: 39152.184 Dev: 0.000 Value: 39152.185 (+529.617)</p> <p>0.00% SA1 0.00% SA2 100.00% SA3 0.00% SA4 0.00% SA5 0.00% SA6 0.00% SA7</p>	<p>Reading hypothesis: sector belongs to profile 3, the fact is entered as evidence to BN (belonging probability = 100%)</p> <p>Probabilistic information on assumed evidence</p>	<p>LAND COVERAGE RATIO Mean: 22.339 Dev: 5.467 Value: 22.339 (+1.563)</p> <p>0.00% <=15,374 80.00% <=25,965 20.00% <=42,599 0.00% >42,599</p> <p>Probability of land coverage ratio in the sector being between 14.374 and 25.965 is 80% (grey arrow shows big probability increase compared to average sector)</p>	<p>BUILDING FLOORAGE DENSITY Mean: 0.964 Dev: 0.415 Value: 0.964 (+0.032)</p> <p>6.67% <=0,569 73.33% <=1,249 20.00% <=2,512 0.00% >2,512</p> <p>Probability of floorage density in the sector being between less than 0.569 is 6.67% (grey arrow shows big probability decrease compared to average sector)</p>
--	---	---	--

IA bayésienne dans la recherche sur les espaces géographiques pathogènes (S. Perez)

Objet recherche



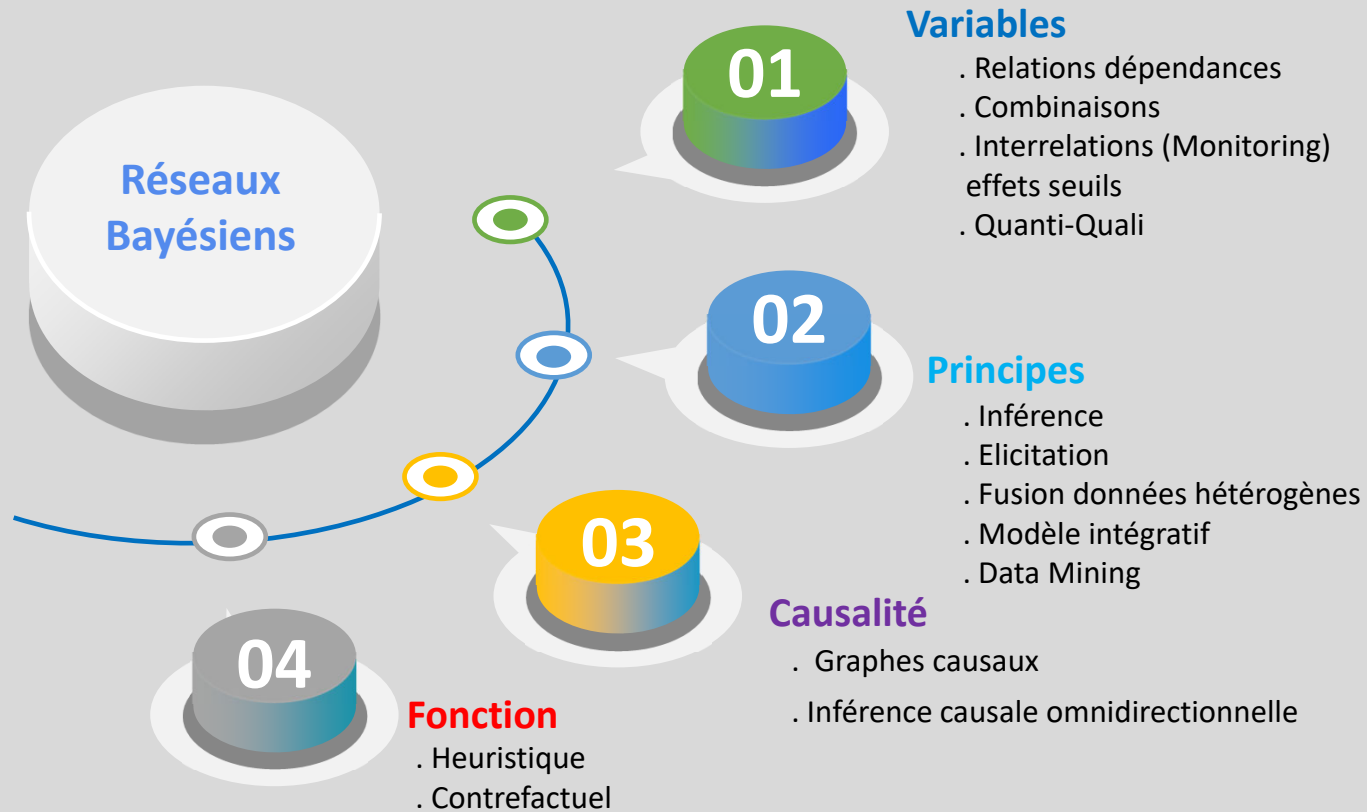
Etudes longues,
complexes, incertain,
multifactorielles, réponses
équivoques, facteurs de
confusion, cumul
(exposome), différenciel spatial
& temporel, variabilité
interindividuelle, fenêtres
exposition, périodes
sensibles

Interactions polluants, effets
cocktails, doses réponses
lacunaires, ecological fallacy,
atomistic fallacy

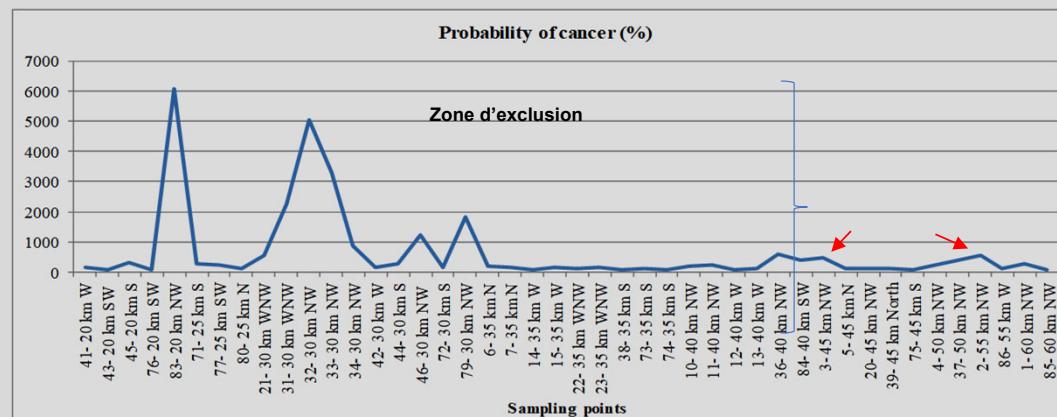
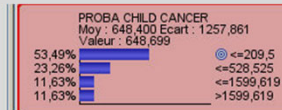
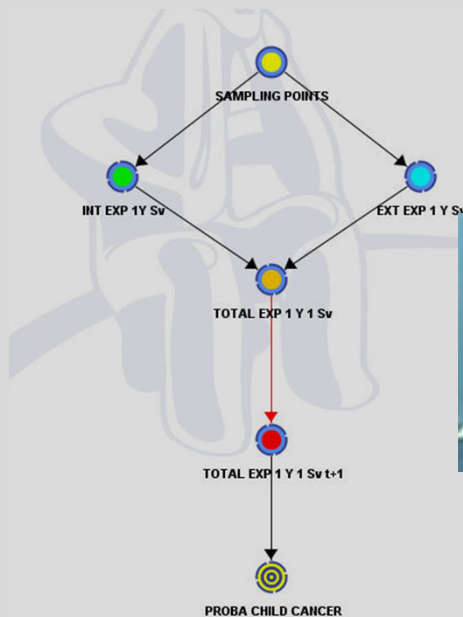
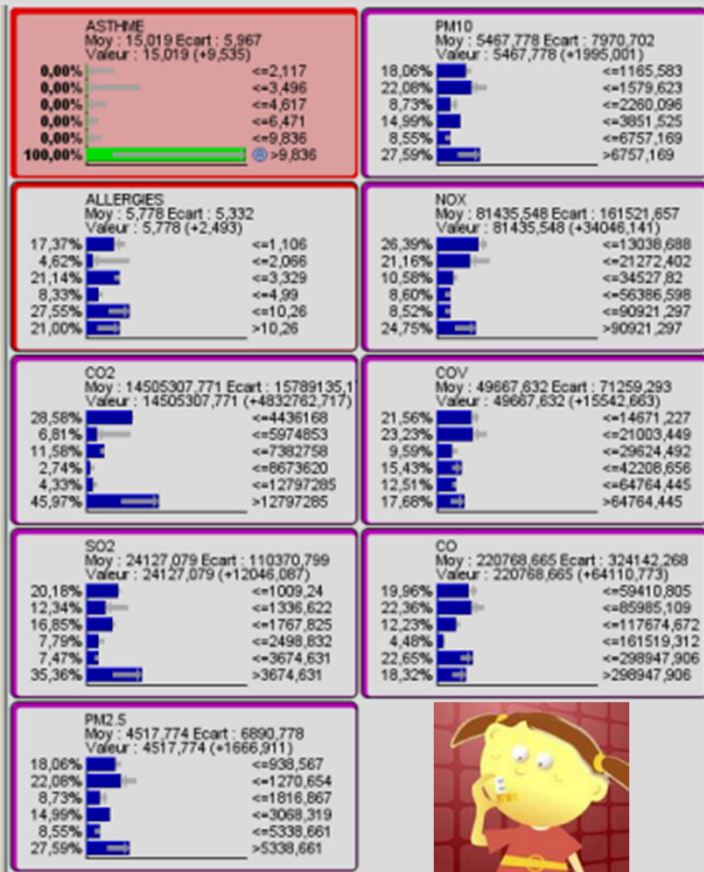
Objectif

Causalité, imputabilité,
étiologie, part de
chaque variable,
préconisations,
diagnostic de l'espace
& dans l'espace

IA bayésienne dans la recherche sur les espaces géographiques pathogènes 2



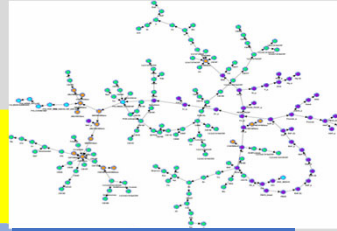
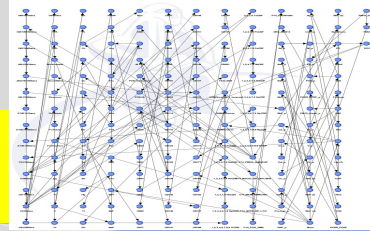
IA bayésienne dans la recherche sur les espaces géographiques pathogènes 3



IA bayésienne dans la recherche sur les espaces géographiques pathogènes 4

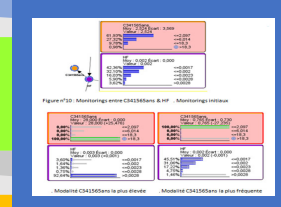
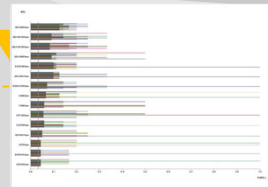
Step 1

Intégration données modèle bayésien
(Machine learning algorithme non supervisé)



Step 3

Analyses de sensibilité/IRIS/
santé/polluants/socio-éco



Step 2

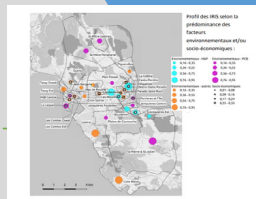
Monitoring analyse covariations relations
d'intérêt (patho + polluant), seuils d'action

Step 4

Récupération valeurs probabilités AS chaque
variables/IRIS => effets cocktail CAH => 5 Groupes

Step 5

Cartographie



Step 6

Résultats, préconisations



IA bayésienne dans la recherche sur les espaces géographiques pathogènes 5

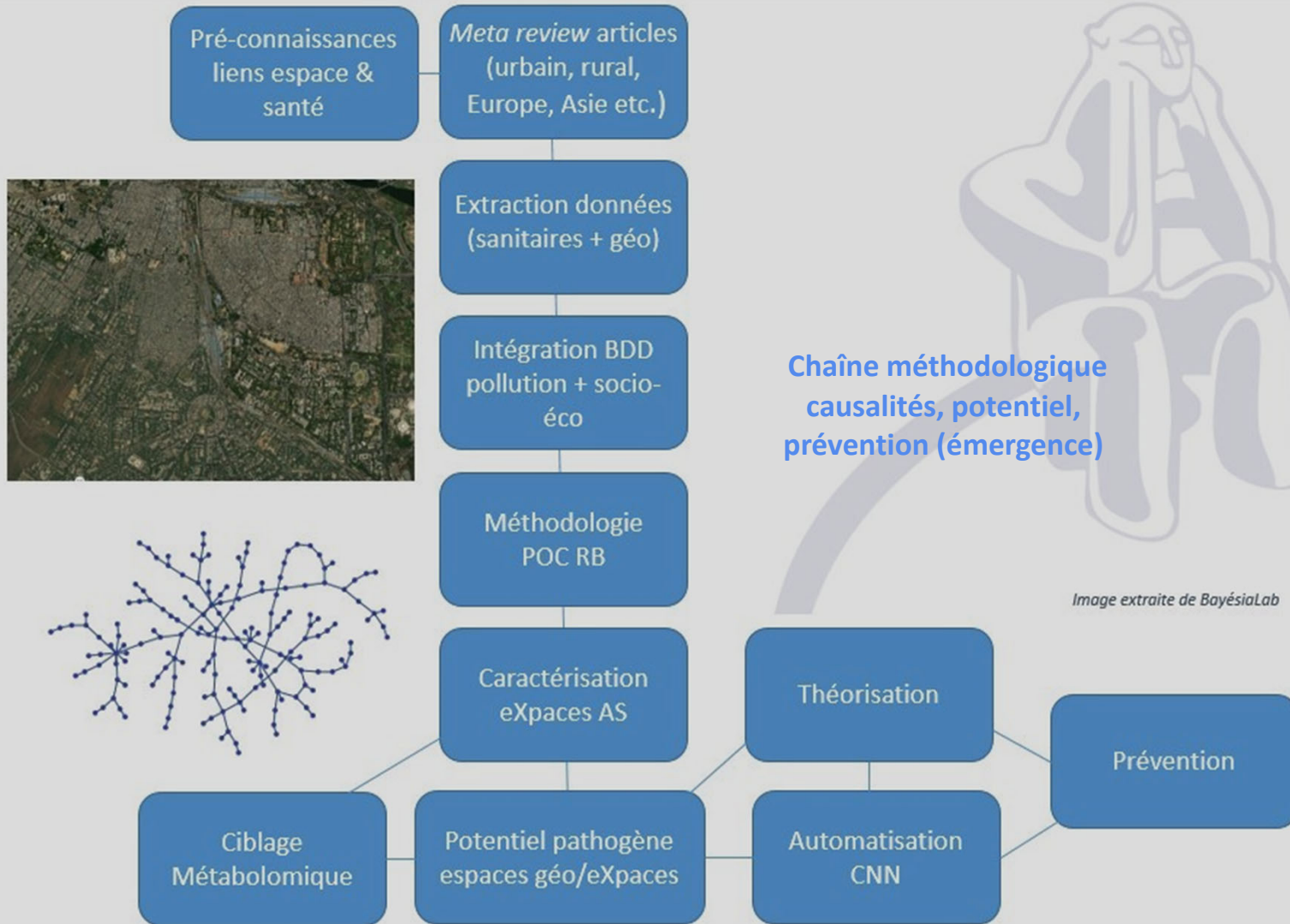


Image extraite de BayésiaLab

Du chaînage RB + RNConv, un nouveau concept : eXpace (exposome + espace)

Conclusions

La démarche IA Bayésienne participe aux deux directions actuelles de développement de la modélisation géographique :

1) La **géocomputation** (automates cellulaires, réseaux de neurones, systèmes multi-agents, ...)

Approche classique = utilisation de l'ordinateur pour résoudre des problèmes de calculs dans un modèle conçu par le modélisateur

Géocomputation = interaction entre ordinateur et modélisateur pour produire des modèles de façon interactive – "découverte" de règles macroscopiques de fonctionnement

2) L'approche du **qualitatif** et de **l'incertain** (analyses qualitatives, statistiques textuelles, logique floue, modèles conceptuels)

Se rapprocher le plus possible de la complexité de la logique humaine. Mais nécessité de structurer et de formaliser le qualitatif (hypothèses causales) pour l'exploiter de façon rigoureuse.

Spécificité IA Bayésienne : garder la structure causale du système étudié.

Hybridations/couplages possibles avec d'autres approches (RN convolutifs, SE)

Bibliographie

- Araldi A., Fusco G., Emsellem D., Overall D., 2023 (in press) Building types in France. Clustering building morphometrics using national spatial data. *RIG - Revue Internationale de Géomatique*, Vol. 32 / 1-2
- Perez S., German-Labaume C., Goix S. et al., 2021, Using Bayesian networks for environmental health risk assessment, *Environmental Research*, 2021, pp.112059, [10.1016/j.envres.2021.112059](https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112059)
- Venerandi A., Fusco G., Tettamanzi A., Emsellem D., 2019, Housing market and urban form: a machine learning approach, *Urban Science*, 3(3), 100, p. 1-25, <https://doi.org/10.3390/urbansci3030100>
- Araldi A., Fusco G., 2019, From the street to the metropolitan region: Pedestrian perspective in urban fabric analysis. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 46(7), 1243–1263, <https://doi.org/10.1177/2399808319832612>
- Fusco G., Perez J., 2019, Bayesian Clustering and SOM Neural Networks under the Test of Indian Districts. A comparison. *Cybergeog*, n° 887, p. 1-34. <https://journals.openedition.org/cybergeog/31909>
- Dubois D., Fusco G., Prade H., Tettamanzi A., 2017, Uncertain Logical Gates in Possibilistic Networks: Theory and application to human geography, *Int. Journal of Approximate Reasoning*, 82, 101-118, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0888613X1630233X>
- Fusco G., Tettamanzi A., 2017, Multiple Bayesian Models for the Sustainable City. The Case of Urban Sprawl, in O. Gervasi et al. (Eds.) *ICCSA 2017, Proceedings, Part IV, Lecture Notes in Computer Science*, Ivol 10407, Springer, Berlin, p. 392-407
- Fusco G., 2016, Beyond the Built-up Form / Mobility Relationship: Spatial Affordance and Lifestyles, *Computers Environment and Urban Systems*, 60, p. 50-66, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0198971516301545>
- Fusco G., Cai C., 2016, Uncertain clustering of social specialization in metropolitan areas, in J.-S. Bailly, D. Griffith & D. Josselin (Eds.), *Proceedings of Spatial Accuracy 2016, ISARA*, p. 122-129, https://hal-sfo.ccsd.cnrs.fr/ESPACE_NICE/hal-03533090v1
- Petri M., Pratelli A., Fusco G., 2016, Data Mining and Big Freight Transport Database Analysis and Forecasting Capabilities, *Transaction in Maritime Science*, 2016/02, 99-110, http://toms.com.hr/archive/vol5/no2/toms_vol5no2_doi001.pdf
- Fusco G. et al., 2015, Social polarization in the metropolitan area of Marseille. Modelling uncertain knowledge with probabilistic and possibilistic networks, *ECTQG 2015, Plurimondi*, VIII, 17, p. 117-126, <http://plurimondi.poliba.it/index.php/Plurimondi/article/view/39/26>
- Fusco G., Caglioni M., Araldi A., 2015, Street Network Morphology and Retail Locations. Application to the city of Nice (France), *ECTQG 2015 - Proceedings, Plurimondi*, VIII, 17, p. 15-22, <http://plurimondi.poliba.it/index.php/Plurimondi/article/view/26/15>

Bibliographie

- Fusco G., 2012, Démarche géo-prospective et modélisation causale probabiliste, Cybergegeo, n° 613, <http://cybergegeo.revues.org/25423>
- Perez. S., 2011, Modelling of the vulnerability of the Japanese population to radioactive discharges from Fukushima nuclear power plant. European Colloquium of Quantitative and Theoretical Geography (ECQTG), Stamatis Kalogirou, Mar 2011, ATHENES, Greece. pp.639 : 646
- Perez S., 2010, Modélisation des pathologies respiratoires des écoliers niçois par les Réseaux Bayésiens. First edition of International Colloquium Health and Space, Sept. 2010, Marseille.
- Fusco G., 2010, Uncertainty in Interaction Modelling: Prospecting the Evolution of Urban Network in South-Eastern France. In H. Prade, R. Jeansoulin, O. Papini, S. Schockaert (Eds.) Methods for Handling Imperfect Spatial Information, Springer, Berlin, p. 357-378
- Fusco G., 2008, Spatial Dynamics in the Coastal Region of South-Eastern France. In O. Pourret, P. Naïm. B.G. Marcot (Eds.), Bayesian Networks: A Practical Guide to Applications, John Wiley & Sons, Chichester, p. 87-112.
- Fusco G., 2004, Looking for Sustainable Urban Mobility through Bayesian Networks, Scienze Regionali / Italian Journal of Regional Sciences, n° 3/2003, pp. 87-106 et Cybergegeo, n° 292, <http://cybergegeo.revues.org/2777>

5 thèses de doctorat :

- Ben Hassine J., 2021, La spatialisation des odeurs, UMR ESPACE, Université Côte d'Azur
- Araldi A., 2019, Distribution des commerces et forme urbaine. Modèles orientés-rue pour la Côte d'Azur / Retail Distribution and Urban Form. Street-based Models for the French Riviera, UMR ESPACE, Université Côte d'Azur
- Perez J., 2015, Spatial structures in India at the age of globalisation. A data-driven approach, UMR ESPACE, Université d'Avignon.
- Scarella F., 2014, La ségrégation résidentielle dans l'espace-temps métropolitain : analyse spatiale et géoprospective des dynamiques résidentielles de la métropole azuréeenne, UMR ESPACE, Université de Nice Sophia Antipolis.
- Fusco G., 2003, Un modèle systémique d'indicateurs pour la durabilité de la mobilité urbaine : les cas de Nice et Gênes dans une comparaison internationale, UMR ESPACE / DiAP, Université de Nice Sophia Antipolis / Politecnico di Milano

2 Habilitations à Diriger les Recherches :

- Perez S., 2023, Pour une dose [géographique] réponse en santé environnementale, UMR ESPACE, Université Côte d'Azur
- Fusco G., 2018, Ville, complexité, incertitude. Enjeux de connaissance pour le géographe et l'urbaniste, UMR ESPACE, Université Côte d'Azur

JOURNÉES
SCIENTIFIQUES
ODYSSEE #3

22 mai 2023

Intelligence Artificielle
en Sciences Humaines et
Sociales :

NOUVEAUX OUTILS,
NOUVELLES APPROCHES,
NOUVEAUX OBJETS ?



SCIENCES DE LA SOCIÉTÉ
ET DE L'ENVIRONNEMENT
ÉCOLE UNIVERSITAIRE DE RECHERCHE



UNIVERSITÉ
CÔTE D'AZUR

Merci de votre attention

giovanni.fusco@univ-cotedazur.fr
sandra.perez@univ-cotedazur.fr

UNIVERSITÉ
CÔTE D'AZUR 


AVIGNON
UNIVERSITÉ



(Aix*Marseille
université
Initiative d'excellence

