



HAL
open science

Faisabilité de l'infiltration des eaux pluviales en zone d'aléa dissolution du gypse – apport de la modélisation numérique

Emmanuel Dumont, Jérémie Sage, Philippe Branchu, Eugénie Monnier

► To cite this version:

Emmanuel Dumont, Jérémie Sage, Philippe Branchu, Eugénie Monnier. Faisabilité de l'infiltration des eaux pluviales en zone d'aléa dissolution du gypse – apport de la modélisation numérique. Novatech 2023, Jul 2023, Lyon, France. hal-04187468

HAL Id: hal-04187468

<https://hal.science/hal-04187468>

Submitted on 29 Aug 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Faisabilité de l'infiltration des eaux pluviales en zone d'aléa dissolution du gypse – apport de la modélisation numérique

Feasibility of stormwater infiltration in area with gypsum dissolution hazards : contribution of numerical modelling

Emmanuel DUMONT¹, Jérémie SAGE¹, Philippe BRANCHU¹, Eugénie MONNIER²

1 Cerema Ile-de-France, Trappes, France

2 Etablissement Public Territorial Est Ensemble Grand Paris, Romainville, France

RÉSUMÉ

La faisabilité de l'infiltration des eaux pluviales vis-à-vis du risque de dissolution du gypse a été étudiée dans le cadre du projet d'Ecoquartier de la Gare à Pantin (France, 93). Les travaux ont d'abord consisté à quantifier le gypse réellement présent et caractériser le fonctionnement hydrogéologique et géochimique de la zone d'étude, puis à modéliser l'impact des aménagements futurs sur la recharge et sur les équilibres physico-chimiques dans les eaux souterraines. Ces résultats ont été utilisés pour optimiser les dispositifs de gestion des eaux pluviales, tout en assurant une maîtrise des risques.

ABSTRACT

Feasibility of stormwater infiltration with regard to gypsum dissolution hazards has been studied for a future ecodistrict near Paris. The program has first consisted in assessing the presence of gypsum, characterizing the site hydrogeology and geochemistry, then modelling the impact of urban planning on recharge and on sulfate concentrations in groundwater. The modelling results can be used to optimize the infiltration system design in order to reduce the impact on groundwater geochemistry.

MOTS CLÉS

Gestion des risques, gypse, hydrologie urbaine, infiltration des eaux pluviales, modélisation

1 INTRODUCTION

Le risque de dissolution du gypse constitue dans de nombreuses zones d'Île-de-France un obstacle à l'infiltration des eaux pluviales, alors que l'incidence réelle de ce mode de gestion reste mal caractérisée. La gestion des eaux pluviales à la source, notamment par infiltration, constitue pourtant un enjeu important pour les collectivités afin de contribuer à la réduction des pressions sur les milieux aquatiques et des risques d'inondation.

L'Établissement Public Territorial Est Ensemble Grand Paris et le Cerema ont signé une convention de partenariat de recherche et d'échanges de données, subventionnée par l'Agence de l'Eau Seine Normandie. Son objectif est d'étudier la faisabilité d'une politique d'infiltration des eaux pluviales urbaines dans des contextes hydrogéologiques sensibles, en particulier vis-à-vis du risque de dissolution du gypse, avec comme cas d'étude le projet d'aménagement de la ZAC Écoquartier de la gare à Pantin.

Pour atteindre cet objectif, une caractérisation fine de la géologie ainsi que des fonctionnements hydrogéologiques et géochimiques du site a dans un premier temps été effectuée. Les données recueillies ont par la suite été utilisées pour des travaux de modélisation numérique, visant à étudier les impacts du projet d'aménagement sur la recharge (simulation des écoulements dans la zone non-saturée), ainsi que sur les écoulements souterrains et les équilibres physico-chimiques (simulation des écoulements et du transport conservatif dans la zone saturée). Deux scénarios d'aménagement, l'un basé sur une infiltration diffuse et l'autre sur une infiltration concentrée, ont ainsi pu être comparés à la situation actuelle, avant aménagement.

2 CONTEXTE

2.1 Le projet d'écoquartier de la gare à Pantin

L'« Écoquartier de la gare » à Pantin (93) est une zone d'aménagement de 45 ha, située aux portes de Paris. En 2013, lors de l'élaboration du dossier de création de la ZAC, Est Ensemble et la Ville de Pantin affichent leur volonté de mener un projet exemplaire, avec un engagement fort en matière de développement durable. La ZAC doit comprendre une forte proportion d'espaces verts et l'objectif visé initialement pour la gestion des eaux pluviales sur la ZAC est le « zéro rejet », c'est-à-dire la gestion à la source de la totalité des eaux pluviales, en priorité par infiltration. Il est ainsi prévu de rediriger les eaux pluviales des espaces publics et des espaces privés vers un bassin d'infiltration situé dans un espace vert au centre de la ZAC (Figure 1).



Figure 1 : Plan guide de l'« Ecoquartier de la gare » à Pantin (Source : TGT-FP 2019)

Les premières études opérationnelles ont toutefois montré que le site du projet était susceptible d'être concerné par des risques de dissolution du gypse, remettant en cause le principe de l'infiltration. Une telle préconisation, qui suit la logique du principe de précaution, se retrouve régulièrement sur le territoire d'Est Ensemble, et le site de l'Écoquartier de la Gare a été choisi pour servir de cas d'étude.

2.2 Contexte géologique et hydrogéologique

La zone d'étude se situe dans la Plaine de France, au pied du versant Nord du plateau de Romainville. Parmi les formations géologiques présentes au droit du site, les quatre premières sont susceptibles de contenir du gypse (du haut vers le bas) : les Marnes Infragypseuses, le Marno-Calcaire de Saint-Ouen, les Sables de Beauchamp et les Marnes-et-Caillasses. L'exploitation des données géologiques a permis de montrer que le gypse n'était présent en quantité significative que dans les Marnes-et-Caillasses, soit à plus de 35 mètres de profondeur, et que ce gypse avait fait l'objet de phénomènes de dissolution, pouvant occasionner des remontées de fontis.

D'un point de vue hydrogéologique, la première nappe rencontrée est la nappe du Calcaire de Saint-Ouen, dont la profondeur moyenne se situe entre 6,5 et 13,5 m selon les zones, et s'écoule du Sud-Est vers le Nord-Ouest avec un gradient de l'ordre de 4‰. Elle est séparée de la nappe sous-jacente des Marnes-et-Caillasses (nappe du Lutétien) par une couche peu perméable située dans la partie médiane des Sables de Beauchamp. Sur le plan géochimique, les nappes du Saint-Ouen et des Marnes-et-Caillasses ont un faciès hyper-sulfaté calcique. Dans la nappe du Saint-Ouen, les concentrations en sulfates diminuent de l'amont vers l'aval alors que les concentrations en nitrates augmentent, suggérant que la dilution des concentrations en sulfates est due à des apports anthropiques. Par ailleurs, la grande épaisseur de zone non saturée (plus de 10 mètres), la présence de couches marneuses peu perméables et l'existence d'une fraction importante de sulfates lixiviables dans les remblais permet vraisemblablement aux eaux d'infiltration de se charger en sulfates lors de leur percolation, s'opposant ainsi à la dilution de la nappe par un pôle anthropique.

3 EVALUATION DE L'IMPACT DE L'INFILTRATION

Les impacts potentiels de l'infiltration ont été appréhendés en deux temps. Les conséquences sur la recharge ont d'abord été évaluées à partir de modélisations hydrologiques. Ces-dernières ont ensuite alimenté des modélisations hydrogéologiques visant à caractériser l'impact des modifications de la recharge sur les circulations d'eau souterraines et des équilibres physico-chimiques. Deux scénarios de gestion des eaux pluviales ont été considérés :

- Un scénario « centralisé » combinant i) pour les eaux issues des espaces publics, une infiltration dans un bassin situé au centre de la ZAC et ii) pour les îlots privés, une infiltration à la parcelle des pluies courantes (rapport de 1: 10 entre surface d'infiltration et surface d'apport) avec un éventuel rejet vers l'espace public pour les pluies plus importantes.
- Un scénario « diffus » combinant i) pour les eaux issues des espaces publics, une infiltration via un réseau de noues et ii) pour les îlots privés, le même principe d'infiltration à la parcelle des pluies courantes que pour le scénario « centralisé » auquel est associé une rétention préalable via des toitures végétalisées (TTV) semi-extensives afin de favoriser l'évapotranspiration.

3.1 Modélisation de la recharge

L'incidence de l'aménagement sur la recharge a été évaluée à partir d'un modèle dédié permettant de simuler, de façon distribuée et pour différents profils d'occupation du sol, les processus hydrologiques depuis l'interface sol-atmosphère jusqu'à la zone saturée (ZS). Ce-dernier reposait sur une combinaison de schémas du modèle URBS (Rodriguez et al. 2008) pour la description des processus de surface et d'un modèle dédié à la représentation des écoulement dans la zone-non saturée (ZNS) du sol (Sage et al. 2020). Les simulations ont été effectuées pour une série de 15 ans de précipitations et d'évapotranspiration représentatives du climat local. Deux valeurs contrastées de la perméabilité K_s du sol dans la ZNS (2×10^{-6} m/s et 2×10^{-5} m/s) ont été considérées afin de tenir compte de l'incertitude quant aux caractéristiques du sous-sol.

Les recharges simulées pour les 2 scénarios de gestion des eaux pluviales ont été comparées à celles simulées pour l'état initial (avant aménagement). Ces valeurs ont également été mises en regard de la recharge simulée pour le profil d'occupation du sol associé aux espaces verts. Les résultats sont fournis dans le tableau ci-après :

Tableau 1 Synthèse des résultats de la modélisation de la recharge

Scénario	Recharge	Écart au scénario état initial	Écart au profil espaces verts
Profil espaces verts	90 à 170 mm/an	+17 / +64 %	- / -
État initial	80 à 110 mm/an	- / -	-14 / -39 %
Gestion centralisée	160 à 200 mm/an	+104 / +84 %	+74 / +12 %
Gestion diffuse TTV	100 à 130 mm/an	+31 / +23 %	+12 / -15 %

Le scénario « centralisé » conduit à accroître significativement la recharge par rapport à l'état initial, avec des niveaux assez nettement supérieurs à ceux obtenus pour le profil « espace vert ». De façon prévisible, ce scénario n'apparaît donc pas adapté au contexte géotechnique du site.

Le scénario de gestion diffuse permet à l'inverse de limiter considérablement l'augmentation de la recharge. Si celle-ci demeure supérieure à la valeur estimée pour l'état initial, elle tend en revanche à se rapprocher sensiblement de celle calculée pour le profil espaces-verts, ce qui permet de relativiser son impact potentiel. Une analyse plus approfondie des bilans hydrologiques révèle que cette réduction de la recharge est en grande partie associée à l'hypothèse d'une mise en œuvre de TTV au niveau des îlots privés : l'infiltration relativement diffuse sur les îlots privés et l'espace public n'apparaît donc pas à elle seule suffisante pour maîtriser l'accroissement de la recharge. Un tel résultat souligne donc l'intérêt d'une combinaison de l'infiltration à des pratiques conduisant à limiter les apports vers les ouvrages d'infiltration en favorisant l'évapotranspiration.

3.2 Modélisation de l'impact de l'infiltration sur les eaux souterraines

La recharge spatialisée obtenue pour l'état initial et les deux scénarios d'aménagement a été importée dans un modèle hydrogéologique, afin de reproduire les niveaux piézométriques ainsi que les phénomènes de dilution observés actuellement et d'estimer l'impact des scénarios d'aménagement sur les équilibres physico-chimiques. Dans la mesure où il y a très peu de gypse dans les formations peu profondes, et que le gypse présent dans les Marnes-et-Caillasses est baignée par une nappe saturée en sulfates, il a été décidé de se concentrer sur la modélisation des phénomènes de dilution en utilisant un modèle de transport conservatif (couplage de MODFLOW et MT3DMS, avec le logiciel Visual Modflow Classic). Des simulations ont également été réalisées en prenant en compte une discontinuité verticale, qui pourrait correspondre à un ancien fontis d'environ 20 m de diamètre, afin d'évaluer les conséquences que pourrait avoir une mise en communication de la nappe du Saint-Ouen et de la nappe des Marnes-et-Caillasses.

Les modélisations montrent que l'impact est faible pour le scénario de gestion diffuse (dilution de 20 % dans la nappe du Saint-Ouen et négligeable dans la nappe des Marnes-et-Caillasses). Pour le scénario de gestion centralisée, la dilution des concentrations en sulfates est importante dans la nappe du Saint-Ouen (50%), et non négligeable dans la nappe des Marnes-et-Caillasses. Les modélisations montrent par ailleurs que la présence de discontinuités locales, telles que celles provoquées par un ancien fontis, pourrait conduire à une forte dilution des concentrations en sulfates dans les Marnes-et-Caillasses, et ainsi faire peser un risque de dissolution sur les bancs de gypse présents dans les Marnes-et-Caillasses à l'aval de la zone d'étude (Figure 2).

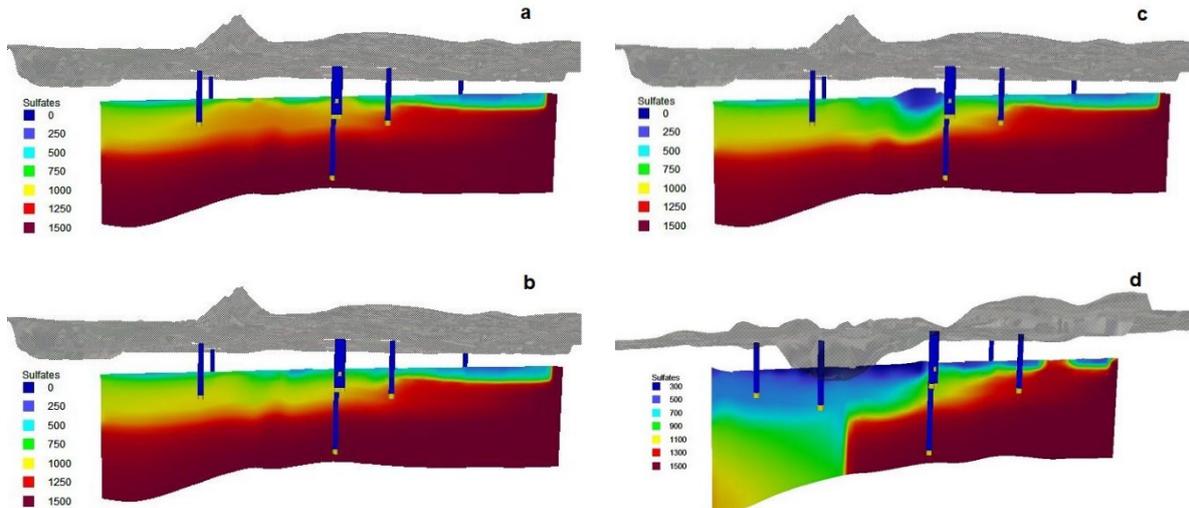


Figure 2 : Profil des concentrations (mg/L) simulées pour l'état actuel (a), le scénario de gestion diffuse (b), le scénario de gestion centralisée (c) et le scénario de gestion centralisée avec la présence d'une discontinuité (d)

4 CONCLUSION

Les méthodes déployées ont permis d'acquérir une connaissance fine de la géologie ainsi que des fonctionnements hydrogéologiques et géochimiques du site. Le gypse n'est présent en quantité significative qu'à plus de 35 mètres de profondeur, dans des formations baignées par une nappe profonde saturée en sulfates. La nappe phréatique est cependant affectée par d'importants phénomènes de dilution des concentrations en sulfates, et des phénomènes de dissolution du gypse ont pu créer des fenêtres de communication entre ces deux nappes.

Les modélisations hydrologiques font apparaître une augmentation de la recharge par rapport à l'état actuel, quel que soit le scénario d'aménagement envisagé. Le recours à une gestion diffuse permet cependant de limiter l'incidence de l'aménagement sur la recharge, et de se rapprocher sensiblement d'un état de référence « naturel ». Les modélisations hydrogéologiques montrent qu'en l'absence de discontinuité dans la couche peu perméable séparant les deux nappes, l'impact de l'infiltration sur les concentrations en sulfates dans la nappe profonde est négligeable pour la gestion diffuse, et faible pour la gestion centralisée. La présence de discontinuité dans la couche peu perméable pourrait en revanche provoquer une migration d'un panache d'eau peu minéralisée vers la nappe profonde, et ainsi aggraver les phénomènes de dissolution. Une simulation complémentaire (« scénario alternatif ») montre que la mise en place de dispositifs réduisant davantage le ruissellement permettrait d'atteindre une recharge proche de celle de l'état actuel, et d'ainsi limiter le risque d'aggraver les phénomènes de dissolution du gypse.

BIBLIOGRAPHIE

- Cerema (2022). *Faisabilité de l'infiltration des eaux pluviales en zone d'aléa dissolution du gypse - cas de l'Ecoquartier de la Gare à Pantin*. Rapport du projet de recherche. 161 p.
- Rodriguez, F., Andrieu, H., & Morena, F. (2008). *A distributed hydrological model for urbanized areas : Model development and application to case studies*. *Journal of Hydrology*, 351, 268-287.
- Sage, J., Berthier, E., & Gromaire, M. C. (2020). Modeling soil moisture redistribution and infiltration dynamics in urban drainage systems. *Journal of Hydrologic Engineering*, 2020, 25 (9), pp.04020041.