



**HAL**  
open science

## Dépasser la méthode de moindre coût pour mesurer l'accessibilité

Daniel Brunstein, Damase Mouralis, Delphine Grancher, Bastien Varoutsikos

► **To cite this version:**

Daniel Brunstein, Damase Mouralis, Delphine Grancher, Bastien Varoutsikos. Dépasser la méthode de moindre coût pour mesurer l'accessibilité. CIST2018 - Représenter les territoires / Representing territories, Collège international des sciences territoriales (CIST), Mar 2018, Rouen, France. pp.396-402. hal-01854404

**HAL Id: hal-01854404**

**<https://hal.science/hal-01854404v1>**

Submitted on 6 Aug 2018

**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.

# Dépasser la méthode de moindre coût pour mesurer l'accessibilité

## Exemple de l'étude des réseaux d'échange préhistorique de l'obsidienne du Moyen-Orient

### AUTEUR.E.S

Daniel BRUNSTEIN, Damase MOURALIS, Delphine GRANCHER, Bastien VAROUTSIKOS

### RÉSUMÉ

Rendre compte des réseaux d'échanges de matières premières et de propagation de savoir-faire entre une série de sites archéologiques nécessite une représentation pertinente des réseaux passés. Comme ces échanges sont inscrits dans un territoire défini, l'enjeu dès lors pour le géographe est de fournir une dimension spatiale pertinente du réseau décrivant les transferts d'obsidiennes (du Néolithique à l'Âge du Bronze) depuis les sources géologiques d'Anatolie vers les sites archéologiques du Moyen-Orient. Cette mobilité de l'obsidienne témoigne non seulement des transferts de matière première, de la mobilité des hommes et des techniques, mais aussi d'une structuration précoce de ce vaste territoire par des sites archéologiques et des axes de circulation. En nous appuyant sur l'étude de ces transferts d'obsidienne, nous exposerons les principales méthodes SIG fondées sur les analyses de coûts (*cost-distance*, *shortest path*) et sur les analyses de flux (*current* et *centrality maps*).

### MOTS CLÉS

Réseaux d'échange, archéologie, obsidienne, théorie des circuits

### ABSTRACT

Identifying exchange networks, often through the study of raw materials or skill diffusion, needs an efficient reconstruction of past human movements. Movements are done through physical landscape, the main issue for the geographer is therefore to reconstruct relevant pathways and a relevant network. Obsidian sourcing enables a precise identification of geological outcrops and is a useful method to understand raw materials and lithic skills diffusion. We present an exchanges analysis of obsidian materials and artefacts during the Neolithic and Bronze Age from Anatolian geological sources to the archaeological sites throughout the Middle East. Obsidian movements show evidence of these exchanges and human mobility, but also of an early structuration of this territory with archaeological sites and circulation routes. These routes can be highlighted with GIS technologies like cost surface analysis (*cost-distance*, *shortest path*) and flow analysis (*current* and *centrality maps*).

### KEYWORDS

Exchange systems, Archaeology, Obsidian sourcing, Circuit theory

### INTRODUCTION

Les réseaux d'échange en archéologie décrivent les liens que les peuples entretenaient afin d'obtenir des matières premières, des biens, des services, des savoir-faire ou des idées. Les archéologues étudient ces réseaux à l'aide de nombreuses techniques de traçage du matériel archéologique. Par exemple, ils identifient les sources de matières premières (gisements, carrières) et observent leur diffusion grâce à l'analyse géochimique réalisée sur des artefacts. Au Moyen-Orient, l'une des matières premières les plus utilisées

pour reconstruire les réseaux d'échanges préhistoriques est l'obsidienne. Sa composition géochimique permet d'identifier avec une grande précision le volcan source et parfois le gisement d'où les hommes ont extrait le matériau pour façonner les artefacts. Dans le cadre du programme GéObs, les auteurs ont précisé les signatures géochimiques des principaux gisements d'obsidienne d'Anatolie permettant d'identifier l'origine d'un ensemble d'artefacts retrouvés dans les sites néolithiques et chalcolithiques du Moyen-Orient. Ils se sont également appuyés sur l'abondante littérature concernant le *sourcing* des obsidiennes du Moyen-Orient et sur la base de données archéologique *Obsidatabase* (Varoutsikos, 2012). Pour comprendre la distribution spatiale des artefacts en fonction de l'origine de la matière première, nous avons appliqué un ensemble de méthodes pour reconstruire le réseau d'échange liant les sites archéologiques. La cartographie, aussi bien des sources de matières que des artefacts découverts dans les sites archéologiques, permet de mieux comprendre les facteurs spatiaux structurant ces réseaux d'échanges. Dès les années 70, géographes et archéologues publient les premiers travaux d'analyse spatiale utilisant la méthode des moindres coûts pour la modélisation d'échanges (Irwin-Williams, 1977). Aujourd'hui, des centaines d'articles s'appuyant sur l'analyse des moindres coûts ont été publiés, en soulignant ainsi la pertinence. Toutefois cette méthode montre de sérieuses limites comme la très grande sensibilité à des conditions locales, la difficulté de modéliser les chemins concurrents par exemple. Pour surmonter ces problèmes, un groupe d'écologues ont proposé une nouvelle méthode (McRae *et al.*, 2008) fondée sur la théorie des circuits électriques, qui est largement utilisée pour modéliser des flux d'animaux à travers un paysage, pour évaluer la connectivité des nœuds du réseau d'échange, pour déterminer non plus des chemins mais des corridors.

## 1. LA DIFFUSION DE L'OBSIDIENNE AU MOYEN-ORIENT

Caractériser les activités d'échange est un enjeu : il s'agit d'évaluer les quantités transportées, d'identifier les moyens de transports, d'évaluer les distances à parcourir, les temps ou encore connaître la saisonnalité des déplacements. On peut s'appuyer sur les connaissances ethnologiques et les descriptions historiques, qui établissent, par exemple, que du VII<sup>e</sup> au II<sup>e</sup> millénaire BC, les peuples du Moyen-Orient avaient un accès direct aux sources d'obsidienne, et estimer que les trajets sont pour partie communs aux transhumances observées dans les documents historiques (Chataignier & Barge, 2008).

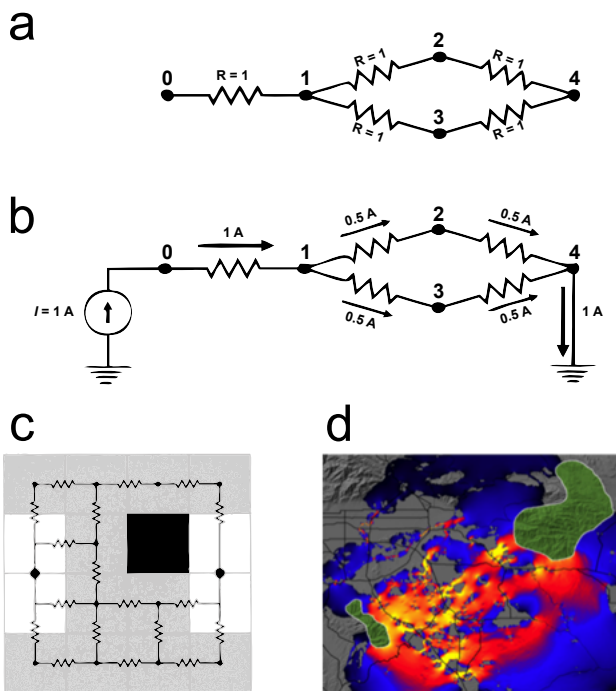
## 2. LES ANALYSES DE MOINDRE COÛT

Deux principes fondent les analyses de moindre coût. La première est que le chemin entre deux points rencontre une rugosité constituée par la topographie, les éléments naturels et/ou culturels qui influent sur les trajets et les temps de parcours. Le second principe est que le chemin optimal peut être calculé en cherchant le trajet qui minimise les coûts engendrés par ces éléments. Cette méthode optimise une solution unique entre deux points spécifiques. Le moindre coût suppose que le voyageur a une connaissance complète du paysage qu'il parcourt et qu'il est capable de déterminer et souhaite emprunter l'unique trajet qui minimise le coût de déplacement fondé sur cette connaissance (McRae *et al.*, 2008). Néanmoins, cette méthode présente des limites, car les individus peuvent être ignorant du paysage, découvrant et décidant de leur chemin au cours de leur progression. D'autres facteurs peuvent amener les individus à modifier leur route les éloignant de la route optimale. Enfin, comme l'ont montré Pinto et Keitt (2009) sur des paysages réels, de petites modifications localisées du paysage peuvent entraîner des effets à très petites échelles et sur l'ensemble de chemin optimal.

### 3. LES ANALYSES DE FLUX

Les limites du modèle de moindre coût ont conduit les chercheurs notamment en écologie à chercher d'autres voies pour l'étude des mouvements des individus ou des flux de gènes. Ainsi l'équipe de McRae (2008), s'appuyant sur la théorie des circuits électriques utilisée en ingénierie électrique, a proposé une approche différente fondée sur la théorie des graphes et de la physique de l'électricité.

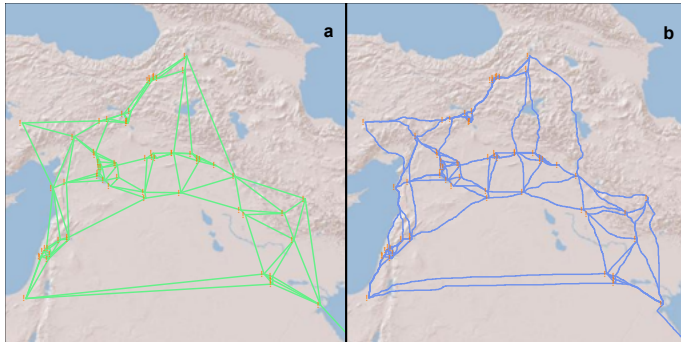
Figure 1. Principe de résistance dans CircuitScape et carte d'intensité électrique



La structure spatiale est donnée par le graphe où les lieux sont des nœuds et les arêtes sont les liens fonctionnels qui les relient. Ce lien fonctionnel est décrit comme une résistance (fig. 1a), analogue au composant électrique, et donc qui oppose une résistance au flux qui le traverse. Si le circuit est traversé par un flux d'une intensité définie (1A), le flux se répartit dans le circuit (fig. 1b) en suivant les lois de l'électricité. L'intensité dans le circuit peut être interprétée comme la probabilité de mouvement net. Le principe fonctionne aussi bien sur des réseaux vectoriels que sur des matrices où chaque cellule est assimilée à un nœud dont les arêtes sont les liens avec les cellules voisines (fig. 1c). La cartographie de l'intensité montre la probabilité de traverser une cellule lors d'un trajet entre deux ou plusieurs points ou zones dans le réseau (fig. 1d).

La modélisation des circuits tente de dépasser la LCP en introduisant une distance de résistance qui allie la distance de moindre coût et la disponibilité de chemins alternatifs (Howey, 2011).

Figure 2. Réseau euclidien (a) et réseau suivant la méthode LCP (b)



McRae et ses collaborateurs ont produit une application opensource, *CircuitScape*<sup>1</sup>, simple à mettre en œuvre *pour conduire vos propres analyses*. Il met aussi à disposition une toolbox ArcGis, *Linkage Mapper*, qui permet de produire des cartes d'intensité, d'identifier des corridors et toute une série de données dérivées.

#### 4. APPLICATION AUX SITES NÉOLITHIQUES DU MOYEN-ORIENT

La représentation des paysages anciens se heurte à la méconnaissance de nombreux éléments structurant du paysage passé. Si pour des époques relativement récentes, on peut considérer le relief, la géologie, la géomorphologie comme stables, en revanche la distribution de la végétation, la présence de points d'eau ou les lieux de franchissement de rivière le plus souvent restent ignorés. Enfin, les facteurs politiques ou sociaux limitant le parcours ou parfois même interdisant des parties du territoire sont encore plus difficile à appréhender. Ainsi, dans la majorité des cas notre connaissance de l'espace structurant le réseau se résume au seul relief. Ce dernier est souvent introduit dans le modèle pour estimer le temps nécessaire pour traverser la cellule de la matrice de paysage.

Le réseau est constitué d'un premier ensemble de nœuds formés par les sources géologiques. Le second représente les gisements d'obsidiennes situés aux abords des volcans récents d'Anatolie. Ceux-ci sont prospectés depuis les premiers travaux d'*obsidian sourcing* au cours des années 80 ; une recherche et une caractérisation systématique des gisements ont été réalisées dans le cadre du programme GéObs, il est donc raisonnable de supposer que nous connaissons toutes les sources volcaniques disponibles à l'époque archéologique considérée.

Une autre série d'hypothèses fortes concerne les sites archéologiques :

- ils sont tous connus ou, pour le moins, ceux connus forment un échantillon spatialement représentatif des sites ayant existés ;
- tous les sites appartenant à la même période culturelle sont occupés concomitamment
- aucun site ne peut être totalement isolé.

##### 4.1. Approche euclidienne et chemin de moindre coûts

On compare les mesures de distance intersites calculée à partir de la distance euclidienne

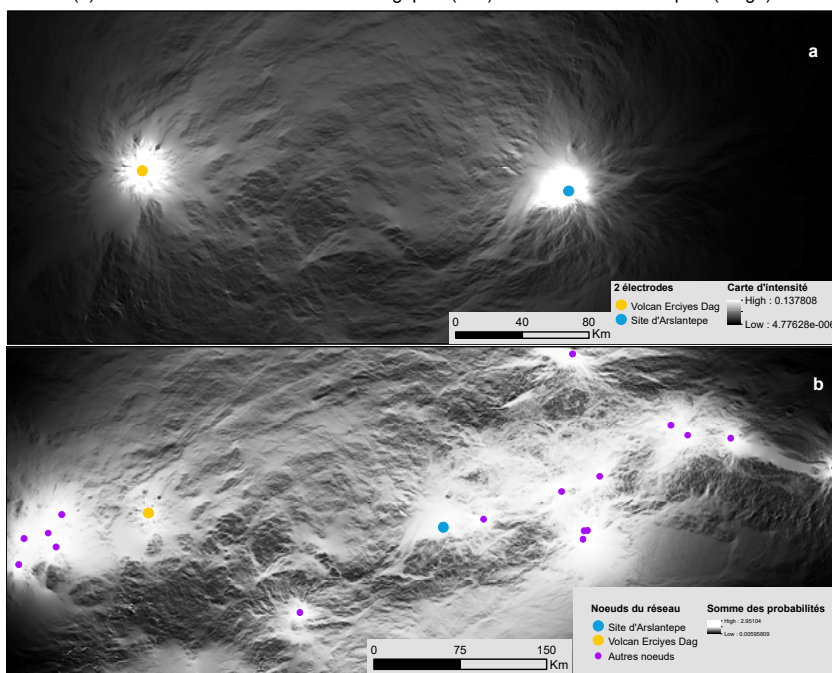
<sup>1</sup> [www.circuitscape.org](http://www.circuitscape.org)

et des chemins de moindre coût. Il apparaît que, à l'échelle régionale, les distances euclidiennes, à un facteur d'échelle près, ne sont pas différentes de celles calculées à l'aide du relief (chemins de moindre coût). L'effet du relief, et plus généralement de la rugosité géographique, est significatif lorsqu'intervient une zone marine et lorsque le relief est très montagneux.

#### 4.2. Analyse des flux

Le paysage est représenté par une résistance au déplacement. Les valeurs de résistances (ou de conductivité) sont assignées à chaque cellule en fonction de la pente (fonction de Tobler). Cette conductivité est proportionnelle à la probabilité relative de mouvement à travers la cellule.

Figure 3. Carte d'intensité  
(a) entre le site archéologique d'Arslantepe et le gisement d'obsidienne du volcan Erციყes  
(b) entre un ensemble de sites archéologiques (vert) et de sources volcaniques (rouge)

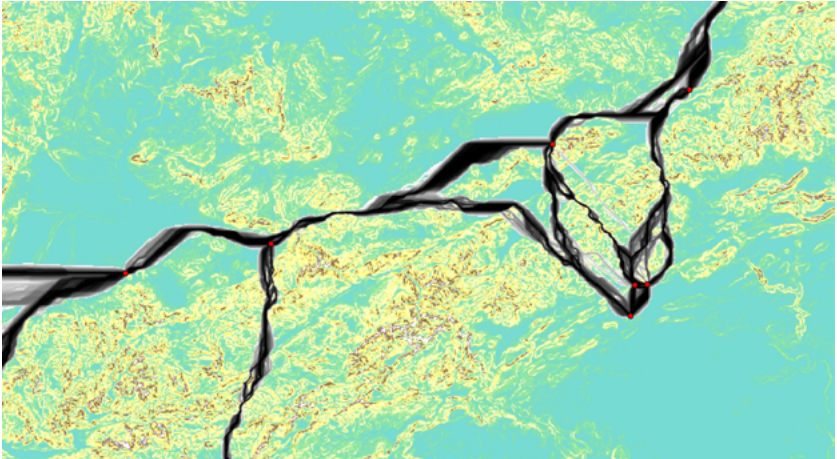


#### 4.3. Modélisation de corridors fonctionnels

Chataignier et Barge (2008) ont souligné combien les déplacements des peuples anciens du Moyen-Orient devaient au moins pour partie s'apparenter à ceux des peuples transhumants. Or les mouvements nomades peuvent être compris comme la résultante du comportement de l'animal et de l'action des éleveurs pour maintenir la cohésion de troupeau en limitant les risques et déployant le minimum de ressources. Les facteurs écologiques affectent les comportements animaux (accès à l'eau, recherche des meilleurs pâturages, traversée des

cours d'eau des cols, etc.), alors que les facteurs non écologiques influencent les actions des éleveurs (Dwyer, 2008). Il est fort probable qu'une multitude de chemins s'offraient aux humains de cette époque.

Figure 4. Détail de la carte des corridors en Anatolie



#### 4.4. Modélisation de la connectivité

L'ensemble des sites archéologiques contemporains forment un réseau dont les arêtes sont constituées des différents corridors définis grâce à la carte d'intensité. Plus un point du paysage est proche et plus il est considéré connecté au réseau. Ainsi, nous pouvons construire un paramètre de connexion de chaque gisement d'obsidienne. Cette variable géographique sera ajoutée aux autres variables intrinsèques décrivant les gisements et nous tenterons d'expliquer les incohérences relevées dans la répartition des obsidiennes au Moyen-Orient. En effet, nous chercherons à comprendre pourquoi des gisements ayant une obsidienne de grande qualité ne semblent pas avoir été exploités alors que des obsidiennes de moins bonne qualité sont abondantes tout au long du Néolithique.

#### RÉFÉRENCES

- Chataigner C., Barge O., 2008, « Quantitative Approach to the Diffusion of Obsidian in the Ancient Northern Near East Layers of perception », *Proceedings of the 35th international conference on computer application and quantitative methods in Archaeology*, Berlin, p. 1-7 [en ligne : [archiv.ub.uni-heidelberg.de/propylaeumdok](http://archiv.ub.uni-heidelberg.de/propylaeumdok)].
- Dwyer M. J., Istomin K. V., 2008, « Theories of Nomadic Movement: A New Theoretical Approach for Understanding the Movement Decisions of Nenets and Komi Reindeer Herders », *Human Ecology*, n° 36, p. 521-533.
- Howey C.L. M., 2011, « Multiple pathways across past landscapes: circuit theory as a complementary geospatial method to least cost path for modeling past movement », *Journal of Archaeological Science*, 38(10), p. 2523-2535.
- Irwin-Williams C., 1977, « A Network Model for the Analysis of Prehistoric Trade », in T.L. Earle et J.E. Ericson (dir.), *Exchange Systems in Prehistory*, New York, Academic Press, p. 141-151.

- Marrotte R.R., Bowman J., 2017, « The relationship between least-cost and resistance distance », *PLoS ONE*, 12(3) [en ligne : [journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0174212](https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0174212)].
- McRae H. B., Dickson G. B., Keitt T.H., Shah V. B., 2008, « Using circuit theory to model connectivity in ecology, evolution, and conservation », *Ecology*, 89(10), p. 2712–2724.
- Pinto N., Keitt T.H., 2009, « Beyond the least-cost path: evaluating corridor redundancy using a graph-theoretic approach », *Landscape Ecology*, n° 24, p. 253-266.
- Varoutsikos B., Chataigner C., 2012, « Obsidatabase. Collecter et organiser les données relatives à l'obsidienne préhistorique au Proche-Orient et en Transcaucasie », in O. Henry (dir.), *Archéologies et espaces parcourus. Actes des 1<sup>ers</sup> rencontres d'archéologie de l'IFEA*, 11-13 novembre 2010, Istanbul, IFEA Georges Dumézil, p. 11-22.

## LES AUTEUR.E.S

### Daniel Brunstein

Università di Corsica – LISA  
[daniel.brunstein@univ-corse.fr](mailto:daniel.brunstein@univ-corse.fr)

### Damase Mouralis

Université de Rouen – IDEES  
[damase.mouralis@univ-rouen.fr](mailto:damase.mouralis@univ-rouen.fr)

### Delphine Grancher

Université Paris 1 – LGP  
[delphine.grancher@cnr.fr](mailto:delphine.grancher@cnr.fr)

### Bastien Varoutsikos

Université Paris 1 – Arcscan  
[b.varoutsikos@gmail.com](mailto:b.varoutsikos@gmail.com)