



**HAL**  
open science

## SkyPole - Méthode de localisation du pôle Nord céleste par traitement d'images polarimétriques du ciel

Thomas Kronland-Martinet, Léo Poughon, Marcel Pasquinelli, David Duché,  
Julien R Serres, Stéphane Viollet

► **To cite this version:**

Thomas Kronland-Martinet, Léo Poughon, Marcel Pasquinelli, David Duché, Julien R Serres, et al..  
SkyPole - Méthode de localisation du pôle Nord céleste par traitement d'images polarimétriques du  
ciel. ORASIS 2023, Laboratoire LIS, UMR 7020, May 2023, Carqueiranne, France. hal-04219358

**HAL Id: hal-04219358**

**<https://hal.science/hal-04219358>**

Submitted on 27 Sep 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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial 4.0 International License

# SkyPole - Méthode de localisation du pôle Nord céleste par traitement d'images polarimétriques du ciel

Thomas Kronland-Martinet<sup>1,2</sup>  
David Duché<sup>2</sup>

Léo Poughon<sup>1</sup>  
Julien R Serres<sup>1,3</sup>

Marcel Pasquinelli<sup>2</sup>  
Stéphane Viollet<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Aix Marseille Univ, CNRS, ISM, Marseille, France

<sup>2</sup> Aix Marseille Univ, CNRS, IM2NP, Marseille, France

<sup>3</sup> Institut Universitaire de France (IUF), Paris, France

thomas.kronland-martinet@univ-amu.fr

## Résumé

*Nous proposons une méthode permettant de trouver la position du pôle Nord céleste de jour, uniquement à partir du motif de polarisation dans le ciel. Plus précisément, cette méthode consiste à observer les invariances temporelles du degré de polarisation linéaire dans le ciel, notamment au niveau du pôle Nord céleste. L'obtention de la position du pôle Nord céleste permet d'obtenir la latitude de l'observateur ainsi que la direction du nord géographique.*

## Mots-clés

Compas optique, Vision polarisée, Localisation sans GPS

## Abstract

*We suggest a method to find the north celestial pole during daytime and from the skylight polarization pattern only. More precisely, this method consists in observing temporal invariances of the skylight's degree of linear polarization, in particular near the north celestial pole. Finding the north celestial pole provides the observer's latitude and the geographical north bearing.*

## Keywords

Celestial compass, Polarized vision, GPS-less geolocation

## 1 Introduction

Les systèmes mondiaux de navigation par satellites (GNSS) sont très répandus du fait de leur précision. Cependant, de tels systèmes sont sensibles au brouillage et à l'usurpation d'identité. Comme alternative, des méthodes inspirées du vivant ont été développées. Des études ont montré que certains insectes, notamment les fourmis du désert, utilisent le motif de polarisation du ciel pour naviguer [1]. L'utilisation d'éphémérides solaires combinées à l'estimation de la position du soleil, par le motif de polarisation, permet un positionnement géographique direct [2]. Cependant, les animaux n'ont pas accès à ces éphémérides et l'utilisation du motif de polarisation comme référence pour

leur navigation reste encore peu comprise. Nous proposons ici une méthode alternative, inspirée d'oiseaux migrateurs calibrant leur compas magnétique par la rotation céleste des étoiles de nuit ou du motif de polarisation de jour [3, 4]. Comme Brines [5], nous considérons les propriétés temporelles du motif de polarisation du ciel comme une information de navigation pertinente. L'étude des variations temporelles du motif de polarisation, plus particulièrement du motif de degré de polarisation linéaire (DoLP), nous permet de détecter le Pôle Nord Céleste (NCP pour "North Celestial Pole"), uniquement à partir d'observations du motif de polarisation. Les coordonnées du NCP indiquent la direction du nord géographique et la latitude de l'observateur.

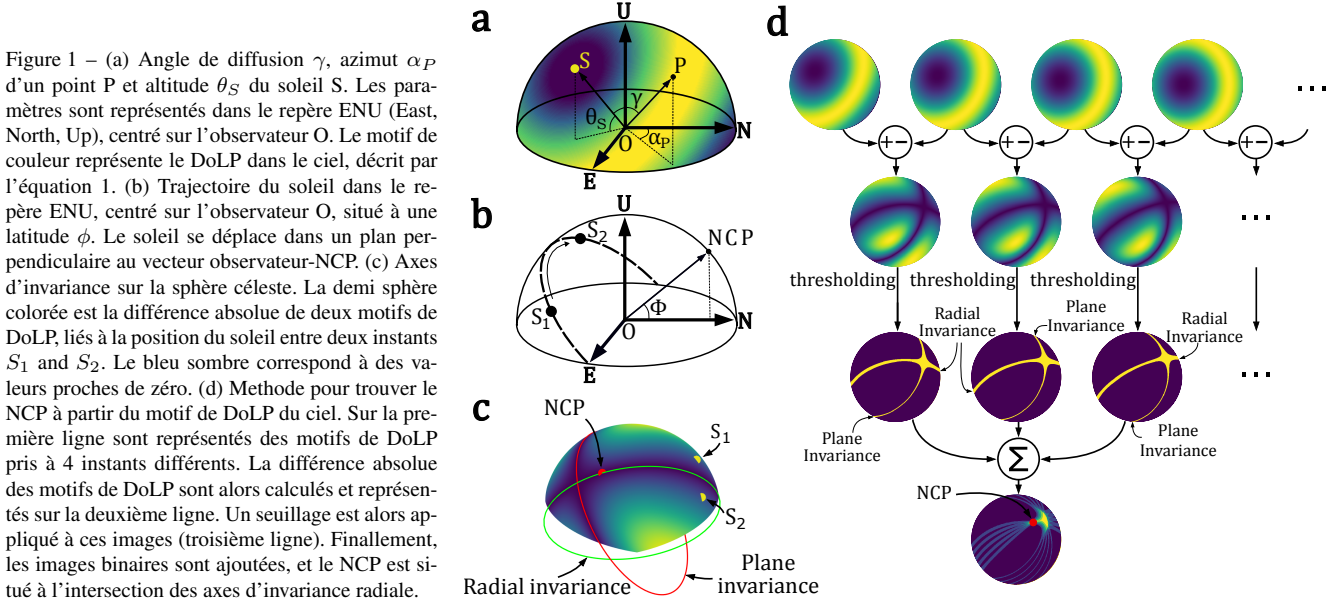
## 2 Description de la méthode SkyPole

Lorsque les rayons du soleil entrent dans l'atmosphère, le phénomène de diffusion de Rayleigh se produit, faisant apparaître un motif de polarisation lié à la position du soleil dans le ciel. Comme décrit dans le modèle de Rayleigh, la polarisation de la lumière du ciel est principalement linéaire, et peut être décrite par deux quantités observables : la direction de polarisation linéaire et le DoLP. Dans cette étude, nous nous intéressons uniquement au DoLP défini dans le modèle de diffusion simple de Rayleigh [6] de la manière suivante :

$$DoLP(\gamma) = \frac{1 - \cos^2(\gamma)}{1 + \cos^2(\gamma)} \quad (1)$$

où  $\gamma$  est l'angle de diffusion (cf. fig. 1a).

L'équation 1 présente deux caractéristiques particulièrement intéressantes, une symétrie radiale selon le vecteur soleil et une symétrie plane selon le plan perpendiculaire au vecteur soleil et contenant la référence O (position de l'observateur). Ainsi, comme illustré en fig. 1c, lorsque l'on compare le motif de DoLP pour des positions du soleil prises à deux instants distincts, le motif de DoLP reste inchangé sur deux axes de part les propriétés de symétrie de la fonction DoLP. Nous nous référons par la suite à



ces invariances de la manière suivant : invariance radiale et invariance plane. Nous avons implémenté la différence de motifs de DoLP pris à deux instants distincts (intervalle de temps compris entre 30 et 60 minutes) afin de visualiser les axes d'invariance radiale et plane. De plus, sachant que le soleil tourne autour du NCP, l'angle de diffusion  $\gamma$  est constant à ce point, et ainsi, le DoLP reste constant au cours de la journée au NCP. Le NCP est situé sur l'axe d'invariance radiale, et il s'agit du seul point de la sphère céleste, visible, et situé à tout instant sur cet axe. Ainsi, le NCP peut être localisé à l'intersection d'axes d'invariance radiales obtenus par différence d'images de DoLP pris à des instants distincts (cf. fig. 1d). En théorie, seulement trois observations du ciel sont nécessaires pour calculer la position du NCP.

### 3 Résultats

Nous avons utilisé une caméra polarimétrique équipée d'un objectif fish-eye, située sur le toit d'un laboratoire (43.2870135°N, 5.4034385°E) pour valider expérimentalement notre méthode. Les résultats en azimut et en altitude du NCP sont présentés en fig. 2. Nous obtenons une MAE (Mean Absolute Error) de 2,6° en azimut et 3,8° en latitude.

### Références

[1] Rüdiger Wehner. *Desert navigator : the journey of an ant*. Harvard University Press, 2020.

[2] Jian Yang, Xin Liu, Qingyun Zhang, Tao Du, and Lei Guo. Global autonomous positioning in gnss-challenged environments : A bioinspired strategy by polarization pattern. *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, 68(7) :6308–6317, 2020.

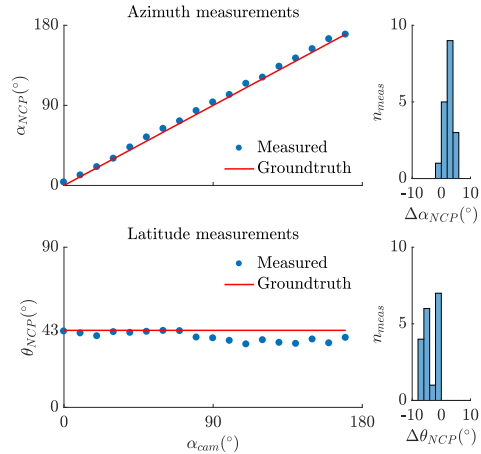


FIGURE 2 – Coordonnées du NCP calculées à partir de données réelles et de la méthode SkyPole versus vérité terrain.  $\alpha_{cam}$  est l'azimut de la caméra relativement au Nord.  $\alpha_{NCP}$  est l'azimut du NCP relativement à l'azimut de la caméra.  $\theta_{NCP}$  est l'altitude du NCP, aussi égal à la latitude de la caméra.  $\Delta\alpha_{NCP}$  et  $\Delta\theta_{NCP}$  sont respectivement les erreurs d'azimut et d'altitude du NCP vs vérité terrain.  $n_{meas}$  : nombre de mesures pour chaque intervalle d'erreur.

[3] Stephen Emlen. The ontogenetic development of orientation capabilities. *NASA Special Publication*, 262 :191, 01 1972.

[4] Kenneth Able and M. Able. Manipulations of polarized skylight calibrate magnetic orientation in a migratory bird. *J. of Comp. Phys. A*, 177 :351–356, 01 1995.

[5] Michael Brines. Dynamic patterns of skylight polarization as clock and compass. *J. of Theo. Biol.*, 86 :507–12, 11 1980.

[6] K.L. Coulson. *Polarization and Intensity of Light in the Atmosphere*. A. Deepak Pub., 1988.