

# Synthese : Modele Cosmologique JANUS et Supernovae

## Document de Reference pour le Projet JANUS-S

**Date de creation :** 4 janvier 2026 **Derniere mise a jour :** 4 janvier 2026 (v2 - enrichissement)

**Objectif :** Reproduire et completer les travaux de Jean-Pierre Petit sur les supernovae

---

### 1. Introduction au Modele JANUS

Le modele cosmologique JANUS (Janus Cosmological Model - JCM) est une theorie bimetrique developpee par Jean-Pierre Petit depuis 1977. Ce modele fusionne : - La relativite generale d'Albert Einstein - Les travaux d'Andrei Sakharov en physique des particules et cosmologie (univers jumeaux) - La geometrie symplectique de Jean-Marie Souriau

#### Principe fondamental

Le modele propose l'existence de deux secteurs couples : - **Secteur positif** : masses positives (notre univers observable) - **Secteur negatif** : masses negatives (secteur miroir, non observable directement)

Les interactions suivent des regles specifiques : - Masses de meme signe : attraction selon la loi de Newton - Masses de signes opposes : repulsion selon une "loi anti-Newton"

#### Caracteristiques cles

- Univers vu comme une hypersurface a 4 dimensions avec topologie fermee
  - Elimination des singularites
  - Explication de l'asymetrie matiere-antimatiere
  - Energie globale negative dominee par les masses negatives
- 

### 2. Comparaison JANUS vs Lambda-CDM

#### 2.1 Le modele standard Lambda-CDM

Composante	Proportion	Role
Matiere ordinaire	~5%	Matiere baryonique observable
Matiere noire (CDM)	~27%	Explique rotation des galaxies, structures
Energie noire (Lambda)	~68%	Explique l'acceleration de l'expansion

**Interpretation des supernovae dans Lambda-CDM :** - L'acceleration de l'expansion s'explique

par l'énergie noire - Constante cosmologique Lambda exerce une pression repulsive - Nécessite des composantes hypothétiques non directement observées

## 2.2 Le modèle JANUS

Aspect	Modèle JANUS
Matière noire	Remplacée par effets des masses négatives
Énergie noire	Remplacée par répulsion masses +/-
Paramètres libres	1 seul ( $q_0$ ) vs plusieurs pour Lambda-CDM
Constante cosmologique	Aucune

**Interprétation des supernovae dans JANUS :** - L'accélération vient de la répulsion gravitationnelle entre masses positives et négatives - Les masses négatives dominent énergétiquement (énergie globale négative) - Même ajustement aux données mais explication physique différente

## 2.3 Tableau comparatif

Critère	Lambda-CDM	JANUS
Composantes invisibles	Oui (matière noire, énergie noire)	Non
Paramètres libres	Plusieurs ( $\Omega_m$ , $\Omega_\Lambda$ , $w$ , ...)	1 ( $q_0$ )
Ajustement SNe Ia	Excellent	Excellent (comparable ou supérieur)
Constante cosmologique	Oui (ad hoc)	Non
Explication physique	Pression repulsive hypothétique	Antigravité naturelle

## 3. Protocole de l'Article 2018

### 3.1 Référence complète

**Titre :** “Constraints on Janus Cosmological model from recent observations of supernovae type Ia”

Champ	Information
Auteurs	G. D'Agostini, J.-P. Petit
Journal	Astrophysics and Space Science
Volume	363, Issue 7, Article 139
Date	Juin 2018
DOI	10.1007/s10509-018-3365-3

### 3.2 Données utilisées

- **Source :** Compilation SDSS-II + SNLS (ensemble JLA - Joint Light-curve Analysis)
- **Référence :** Betoule et al. (2014)
- **Nombre :** 740 supernovae de type Ia

- **Couverture** : Redshifts de  $z$  proche a  $z \sim 1.3$

**Parametres observes par supernova** : -  $m_B^*$  : magnitude de pic en bande B au repos -  $X_1$  : etirement temporel de la courbe de lumiere -  $C$  : couleur au maximum de luminosite

### 3.3 Equations du modele

#### Equations de champ bimétriques :

Pour le secteur positif (+) :

$$R^{(+)}_{\mu\nu} - (1/2) R^{(+)} g^{(+)}_{\mu\nu} = [T^{(+)}_{\mu\nu} + (a^{(-)}_3 / a^{(+)}_3) T^{(-)}_{\mu\nu}]$$

Pour le secteur negatif (-) :

$$R^{(-)}_{\mu\nu} - (1/2) R^{(-)} g^{(-)}_{\mu\nu} = - [T^{(-)}_{\mu\nu} + (a^{(+)}_3 / a^{(-)}_3) T^{(+)}_{\mu\nu}]$$

ou  $R$  est le tenseur de Ricci,  $T$  les tenseurs energie-impulsion,  $\Lambda$  une constante,  $a$  les facteurs d'échelle.

#### Solution exacte (ere de poussiere) :

Facteur d'échelle :

$$a_{\pm}(u) = (\Lambda^2/2) \cosh^2(u)$$

Temps cosmique :

$$t_{\pm}(u) = (\Lambda^2 c/2) [1 + \sinh(2u)/2 + u]$$

avec  $\Lambda^2 = -(8 G/3c^2)E$ , ou  $E < 0$  (densite energetique negative dominante).

#### Distance comobile :

$$r = (c / a_0 H_0) \times [q_0 z + (1-q_0)(1 - \sqrt{1+2q_0 z})] / [q_0^2 (1+z)]$$

Analogue a la relation de Mattig, adaptee pour  $q_0 < 0$ .

#### Module de distance :

$$m_B^* = m_B - M_B + X_1 - C$$

ou  $M_B$ ,  $X_1$ ,  $C$  sont des parametres de nuisance fixes aux valeurs Lambda-CDM de Betoule et al.

### 3.4 Methode d'ajustement

1. Calcul du module de distance theorique pour chaque  $z$
2. Ajustement aux 740 points de donnees
3. Minimisation du  $\chi^2$  avec  $q_0$  et une constante comme parametres libres
4. Comparaison via diagrammes de Hubble (magnitude vs  $z$ )

### 3.5 Resultats obtenus

Parametre	Valeur
$q_0$ (parametre de deceleration)	$-0.087 \pm 0.015$
$\chi^2/d.o.f.$	657/738
Age de l'univers $T_0$	$\sim 15$ Gyr (pour $H_0 = 70$ km/s/Mpc)

**Interpretation :**  $q_0 < 0$  indique une acceleration de l'expansion, expliquee par les masses negatives sans energie noire.

## 4. Publications Completes

### 4.1 Articles sur arXiv

Annee	Titre	Reference
2024	A bimetric cosmological model based on Andrei Sakharov's twin universe approach	arXiv:2412.04644
2014	Can negative mass be considered in General Relativity?	arXiv:1408.2451
2008	Bigravity: a bimetric model of the Universe with variable constants, including VSL	arXiv:0803.1362
2007	Bigravity as an interpretation of the cosmic acceleration	arXiv:0712.0067

### 4.2 Articles dans des Revues a Comite de Lecture

Annee	Titre	Journal
2024	Study of symmetries through the action on torsors of the Janus symplectic group	Reviews in Mathematical Physics
2024	A bimetric cosmological model based on Andrei Sakharov's twin universe approach	European Physical Journal C, 84: 1226
2019	Physical and Mathematical Consistency of the Janus Cosmological Model (JCM)	Progress in Physics, 15(1): 38-47
2018	On evidence for negative energies and masses in the Dirac equation	Journal of Physics Communications, 2(11): 115012
2018	Constraints on Janus Cosmological model from recent observations of supernovae type Ia	Astrophysics and Space Science, 363(7): 139

Annee	Titre	Journal
2015	Lagrangian derivation of the two coupled field equations in the Janus cosmological model	Astrophysics and Space Science
2014	Cosmological bimetric model with interacting positive and negative masses	Modern Physics Letters A, 29(34): 1450182
2014	Negative mass hypothesis in cosmology and the nature of dark energy	Astrophysics and Space Science, 354(2): 611-615

#### 4.3 Publications Fondatrices

Annee	Titre	Journal
1995	Twin Universe Cosmology	Astrophysics and Space Science, 226: 273-307
1994	The missing mass problem	Il Nuovo Cimento, Vol.109: 697-710
1988	Cosmological model with variable velocity of light	Modern Physics Letters A3: 1527

## 5. Donnees Disponibles Post-2018

### 5.1 Catalogues de supernovae recents

Catalogue	Annee	Nombre SNe	Caracteristiques
JLA	2014	740	Utilise dans l'article 2018
Pantheon	2018	~1048	Scolnic et al., z jusqu'a ~2
Pantheon+	2022	1701 courbes / 1550 SNe	Brout et al., meilleure calibration
DES (5 ans)	2024	~1500	Resultats finaux janvier 2024

### 5.2 Sources de donnees

- **JLA** : Archives SNLS/SDSS, CDS Strasbourg
- **Pantheon/Pantheon+** : GitHub du Supernova Cosmology Project
- **DES** : Dark Energy Survey Data Release
- **Autres** : NASA/IPAC, Union3 (2022), donnees JWST (haut z)

### 5.3 Interet pour le projet JANUS-S

Les nouvelles donnees permettraient de : 1. Tester la robustesse du modele sur plus de supernovae 2. Explorer des redshifts plus eleves ( $z > 2$  avec JWST) 3. Comparer statistiquement JANUS vs Lambda-CDM (AIC/BIC) 4. Detecter d'eventuels ecart a bas vs haut redshift

---

## 6. Methodologie pour Reproduire les Travaux

### 6.1 Etapes de reproduction

1. **Telecharger les donnees JLA** (740 SNe Ia)
  - Fichiers :  $m_B^*$ ,  $X_1$ ,  $C$ ,  $z$ , covariances
  - Sources : CDS, archives SNLS/SDSS
2. **Implementer les equations JANUS**
  - Distance comobile  $r(z, q_0)$
  - Module de distance  $(z, q_0)$
3. **Ajustement numerique**
  - Minimisation  $\chi^2$  avec  $q_0$  comme parametre libre
  - Fixer  $M_B$ ,  $\Omega_m$  aux valeurs Lambda-CDM pour comparaison directe
4. **Validation**
  - Reproduire  $q_0 = -0.087$
  - Verifier  $\chi^2/\text{d.o.f.} = 657/738$

### 6.2 Outils recommandes

Outil	Usage
Python + NumPy/SciPy	Calculs et minimisation $\chi^2$
emcee	Analyse MCMC si necessaire
Astropy	Manipulation des donnees astronomiques
sncosmo	Package specialise supernovae
Matplotlib	Diagrammes de Hubble, residus

### 6.3 Extension avec donnees recentes

1. Telecharger Pantheon+ (disponible sur GitHub)
2. Adapter le code pour le nouveau format
3. Tenir compte des covariances systematiques ameliorees
4. Comparer les ajustements JANUS vs Lambda-CDM
5. Calculer criteres AIC/BIC pour comparaison de modeles

---

## 7. Pistes pour Completer les Travaux

### 7.1 Extensions scientifiques

- **Nouvelles donnees** : Pantheon+, DES, futures LSST/Euclid
- **Haut redshift** : Supernovae  $z > 2$  (JWST)
- **Comparaison statistique** : Tests AIC/BIC, validation croisee
- **Autres observables** : CMB (Planck), BAO (DESI)

### 7.2 Contributions possibles

1. Premiere analyse JANUS sur Pantheon+ (non publiee a ce jour)

2. Comparaison rigoureuse des ajustements avec Lambda-CDM
3. Etude des tensions cosmologiques ( $H_0$ ) dans le cadre JANUS
4. Predictions testables pour futures observations

### 7.3 Points a approfondir

- Derivation mathematique complete des equations de champ
  - Implementation numerique optimisee
  - Analyse des incertitudes systematiques
  - Coherence avec CMB et structures a grande echelle
- 

## 8. Ressources et Liens

### Sites Web Officiels

- Site JANUS : <https://januscosmologicalmodel.com/>
- Page Jean-Pierre Petit : <http://www.jp-petit.org/>

### Bases de Donnees Scientifiques

- NASA ADS : <https://ui.adsabs.harvard.edu/>
- arXiv : <https://arxiv.org/>
- HAL : <https://hal.science/>
- CDS Strasbourg : <https://cds.u-strasbg.fr/>

### Donnees Supernovae

- Pantheon+ GitHub : <https://github.com/PantheonPlusSH0ES>
- JLA : via CDS ou archives SNLS
- DES : <https://www.darkenergysurvey.org/>

### Profils Chercheurs

- ResearchGate : <https://www.researchgate.net/profile/Jean-Pierre-Petit>
  - Academia : <https://www.academia.edu/>
- 

## 9. Bibliographie

1. D’Agostini, G.; Petit, J.-P. (2018). “Constraints on Janus Cosmological model from recent observations of supernovae type Ia”. *Astrophysics and Space Science*, 363(7): 139.
2. Petit, J.-P.; Margnat, F.; Zejli, H. (2024). “A bimetric cosmological model based on Andrei Sakharov’s twin universe approach”. *European Physical Journal C*, 84: 1226.
3. Petit, J.-P.; D’Agostini, G. (2014). “Can negative mass be considered in General Relativity?”. arXiv:1408.2451.
4. Petit, J.-P.; D’Agostini, G.; Debergh, N. (2019). “Physical and Mathematical Consistency of the Janus Cosmological Model (JCM)”. *Progress in Physics*, 15(1): 38-47.

5. Petit, J.-P. (1995). “Twin Universe Cosmology”. *Astrophysics and Space Science*, 226: 273-307.
6. Debergh, N.; Petit, J.-P.; D’Agostini, G. (2018). “On evidence for negative energies and masses in the Dirac equation through a unitary time-reversal operator”. *Journal of Physics Communications*, 2(11): 115012.
7. Betoule, M. et al. (2014). “Improved cosmological constraints from a joint analysis of the SDSS-II and SNLS supernova samples”. *Astronomy & Astrophysics*, 568: A22.
8. Scolnic, D. et al. (2018). “The Complete Light-curve Sample of Spectroscopically Confirmed SNe Ia from Pan-STARRS1 and Cosmological Constraints from the Combined Pantheon Sample”. *The Astrophysical Journal*, 859(2): 101.
9. Brout, D. et al. (2022). “The Pantheon+ Analysis: Cosmological Constraints”. *The Astrophysical Journal*, 938(2): 110.

---

## Historique des versions

Version	Date	Modifications
v1	04/01/2026	Creation initiale
v2	04/01/2026	Ajout comparaison JANUS/Lambda-CDM, protocole 2018 detaille, equations, donnees post-2018, methodologie reproduction

---

*Document genere dans le cadre du projet JANUS-S*