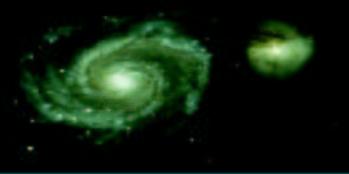

Simulations numériques en astrophysique

Dynamique des systèmes auto-gravitants

Jérôme Perez - Fabrice Roy - Nicolas Kielbasiewicz

Laboratoire de Mathématiques Appliquées - ENSTA

jerome.perez@ensta.fr



Problème étudié

- Où sommes-nous ?
- Les galaxies
- La séquence de Hubble
- Galaxies spirales
- Galaxies elliptiques
- Autres systèmes
- Amas globulaires
- Amas ouverts
- Objectifs
- Attention !

Modélisation

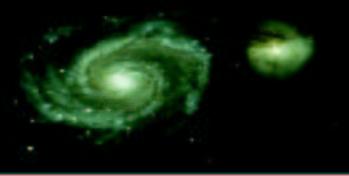
Outils numériques

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

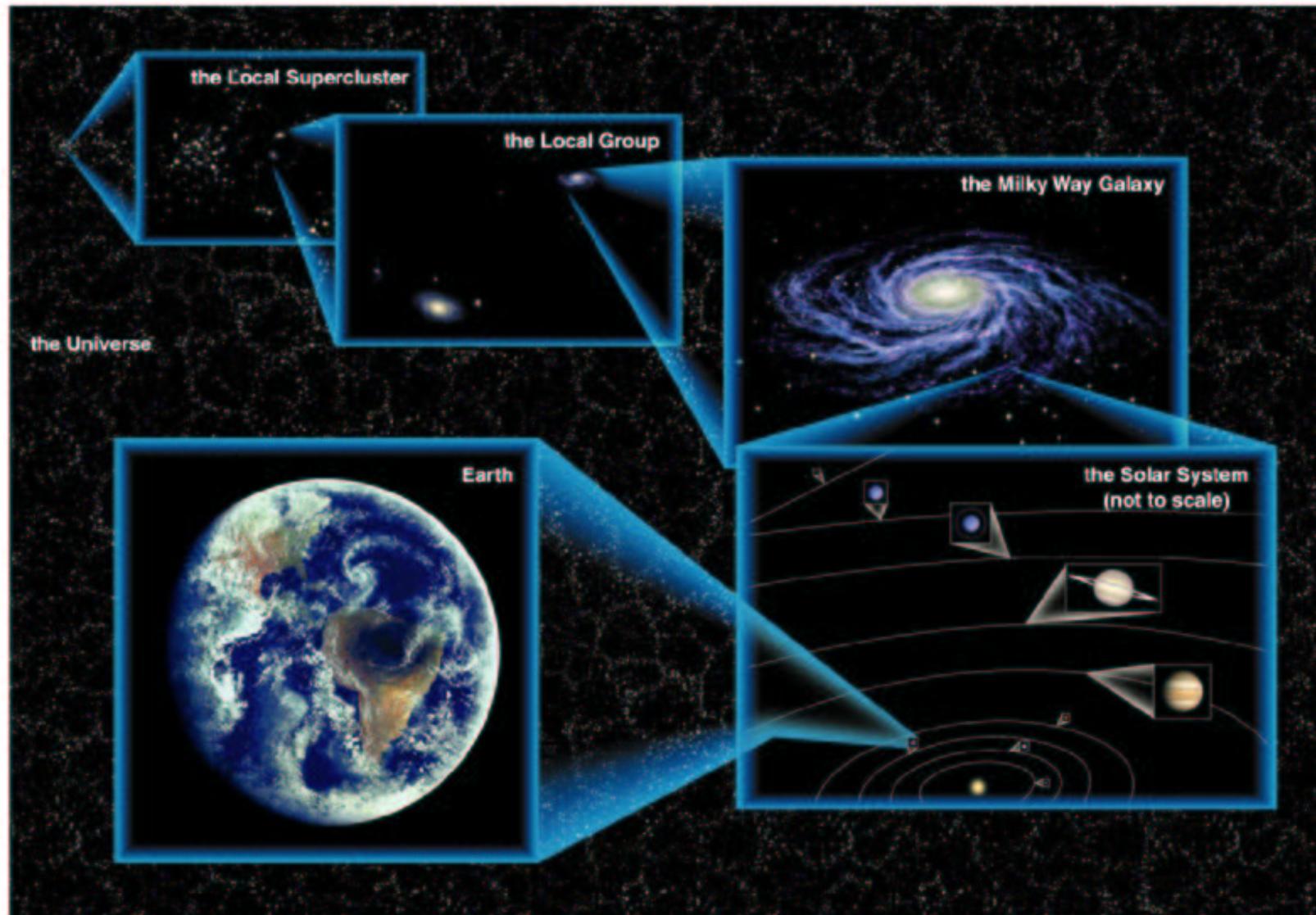
Résultats

Conclusion

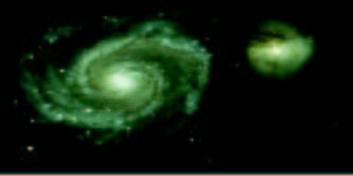
Problème étudié



Où sommes-nous ?



Copyright © 2004 Pearson Education, publishing as Addison Wesley.



Les galaxies

Problème étudié

● Où sommes-nous ?

● Les galaxies

● La séquence de Hubble

● Galaxies spirales

● Galaxies elliptiques

● Autres systèmes

● Amas globulaires

● Amas ouverts

● Objectifs

● Attention !

Modélisation

Outils numériques

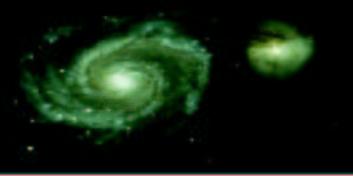
Expériences d'effondrement -

Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

Découverte de Edwin Hubble en 1924 :



Les galaxies

Problème étudié

● Où sommes-nous ?

● Les galaxies

● La séquence de Hubble

● Galaxies spirales

● Galaxies elliptiques

● Autres systèmes

● Amas globulaires

● Amas ouverts

● Objectifs

● Attention !

Modélisation

Outils numériques

Expériences d'effondrement -

Roy & Perez, MNRAS, 2004

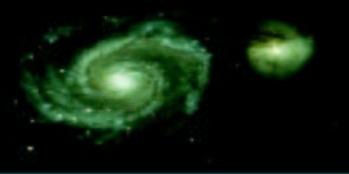
Résultats

Conclusion

Découverte de Edwin Hubble en 1924 :

il existe des mondes distincts du nôtre, des ensembles
d'étoiles évoluant indépendamment.

Une galaxie = un ensemble d'étoiles maintenu par la
gravitation.



La séquence de Hubble

Problème étudié

- Où sommes-nous ?
- Les galaxies
- La séquence de Hubble
- Galaxies spirales
- Galaxies elliptiques
- Autres systèmes
- Amas globulaires
- Amas ouverts
- Objectifs
- Attention !

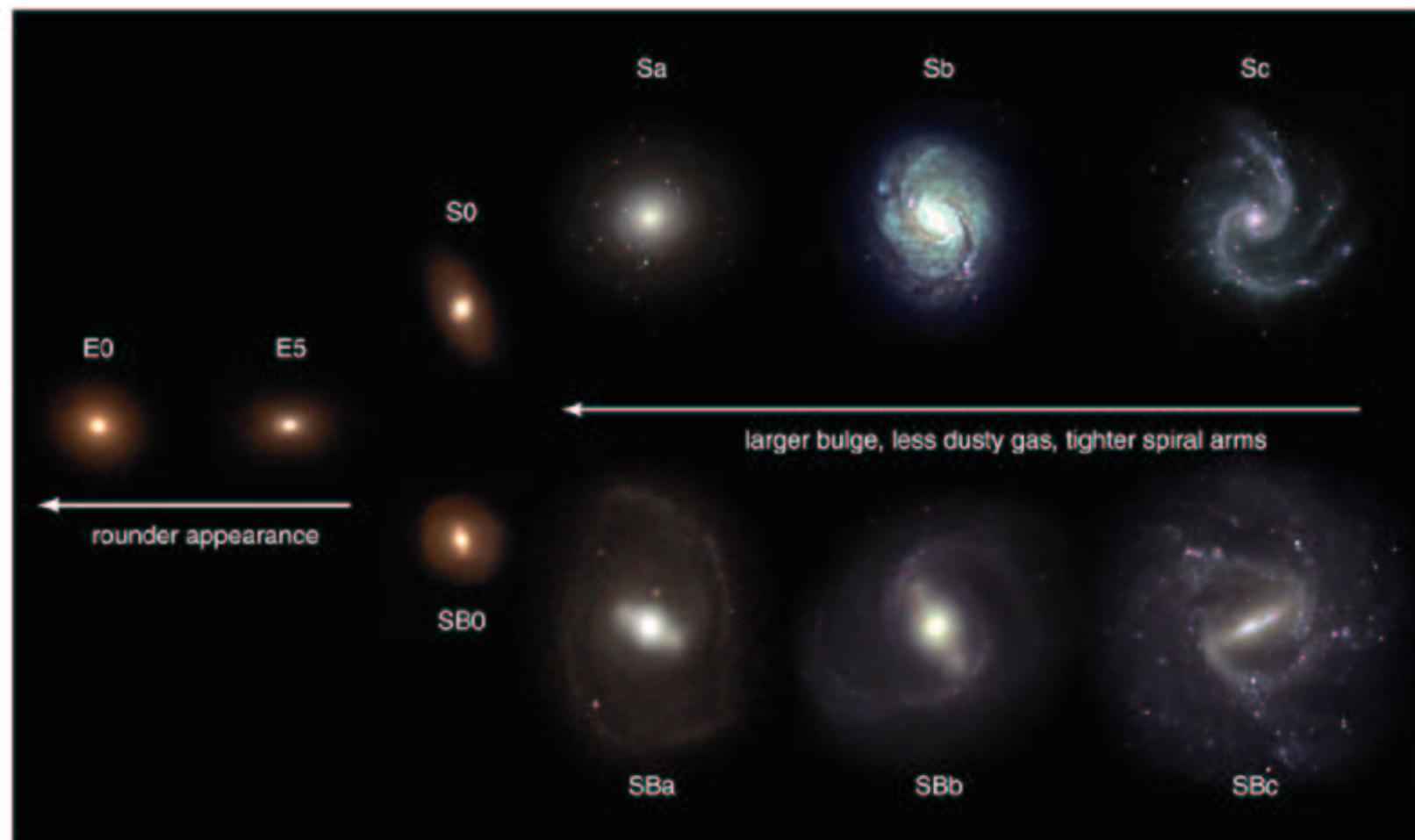
Modélisation

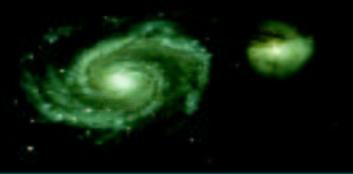
Outils numériques

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion





Galaxies spirales

Problème étudié

- Où sommes-nous ?
- Les galaxies
- La séquence de Hubble
- Galaxies spirales
- Galaxies elliptiques
- Autres systèmes
- Amas globulaires
- Amas ouverts
- Objectifs
- Attention !

Modélisation

Outils numériques

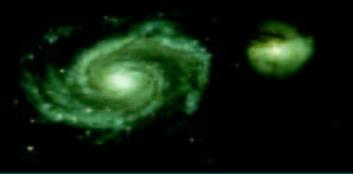
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

10^8 à 10^{11} étoiles, 10^4 à $5 \cdot 10^4$ pc de diamètre, gaz, poussières.





Galaxies spirales

Problème étudié

- Où sommes-nous ?
- Les galaxies
- La séquence de Hubble
- Galaxies spirales
- Galaxies elliptiques
- Autres systèmes
- Amas globulaires
- Amas ouverts
- Objectifs
- Attention !

Modélisation

Outils numériques

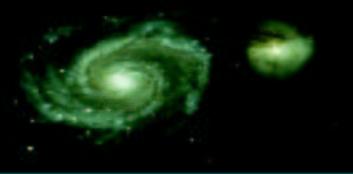
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

10^8 à 10^{11} étoiles, 10^4 à $5 \cdot 10^4$ pc de diamètre, gaz, poussières.





Galaxies spirales

Problème étudié

- Où sommes-nous ?
- Les galaxies
- La séquence de Hubble
- Galaxies spirales
- Galaxies elliptiques
- Autres systèmes
- Amas globulaires
- Amas ouverts
- Objectifs
- Attention !

Modélisation

Outils numériques

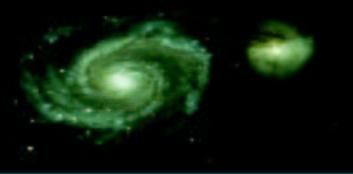
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

10^8 à 10^{11} étoiles, 10^4 à $5 \cdot 10^4$ pc de diamètre, gaz, poussières.





Galaxies spirales

Problème étudié

- Où sommes-nous ?
- Les galaxies
- La séquence de Hubble
- Galaxies spirales
- Galaxies elliptiques
- Autres systèmes
- Amas globulaires
- Amas ouverts
- Objectifs
- Attention !

Modélisation

Outils numériques

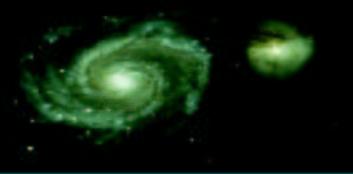
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

10^8 à 10^{11} étoiles, 10^4 à $5 \cdot 10^4$ pc de diamètre, gaz, poussières.





Galaxies spirales

Problème étudié

- Où sommes-nous ?
- Les galaxies
- La séquence de Hubble
- Galaxies spirales
- Galaxies elliptiques
- Autres systèmes
- Amas globulaires
- Amas ouverts
- Objectifs
- Attention !

Modélisation

Outils numériques

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

10^8 à 10^{11} étoiles, 10^4 à $5 \cdot 10^4$ pc de diamètre, gaz, poussières.

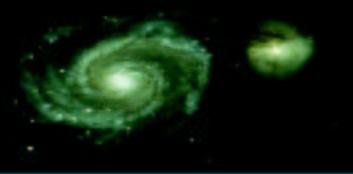


ESO PR Photo 08a/99 (27 February 1999)

Barred Galaxy NGC 1365
(VLT UT1 + FORS1)

© European Southern Observatory





Galaxies spirales

Problème étudié

- Où sommes-nous ?
- Les galaxies
- La séquence de Hubble
- Galaxies spirales
- Galaxies elliptiques
- Autres systèmes
- Amas globulaires
- Amas ouverts
- Objectifs
- Attention !

Modélisation

Outils numériques

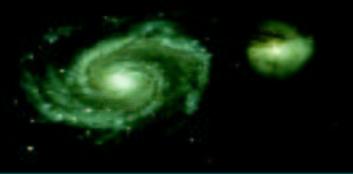
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

10^8 à 10^{11} étoiles, 10^4 à $5 \cdot 10^4$ pc de diamètre, gaz, poussières.





Galaxies spirales

Problème étudié

- Où sommes-nous ?
- Les galaxies
- La séquence de Hubble
- Galaxies spirales
- Galaxies elliptiques
- Autres systèmes
- Amas globulaires
- Amas ouverts
- Objectifs
- Attention !

Modélisation

Outils numériques

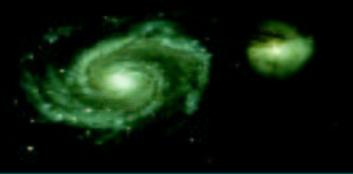
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

10^8 à 10^{11} étoiles, 10^4 à $5 \cdot 10^4$ pc de diamètre, gaz, poussières.





Galaxies elliptiques

Problème étudié

- Où sommes-nous ?
- Les galaxies
- La séquence de Hubble
- Galaxies spirales
- Galaxies elliptiques **selected**
- Autres systèmes
- Amas globulaires
- Amas ouverts
- Objectifs
- Attention !

Modélisation

Outils numériques

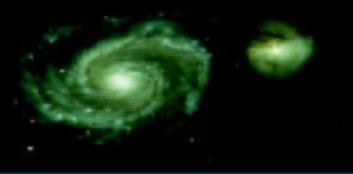
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

10^9 à 10^{13} étoiles, 10^4 à $2 \cdot 10^5$ pc de diamètre, pas de gaz, pas de poussières.





Galaxies elliptiques

Problème étudié

- Où sommes-nous ?
- Les galaxies
- La séquence de Hubble
- Galaxies spirales
- Galaxies elliptiques**
- Autres systèmes
- Amas globulaires
- Amas ouverts
- Objectifs
- Attention !

Modélisation

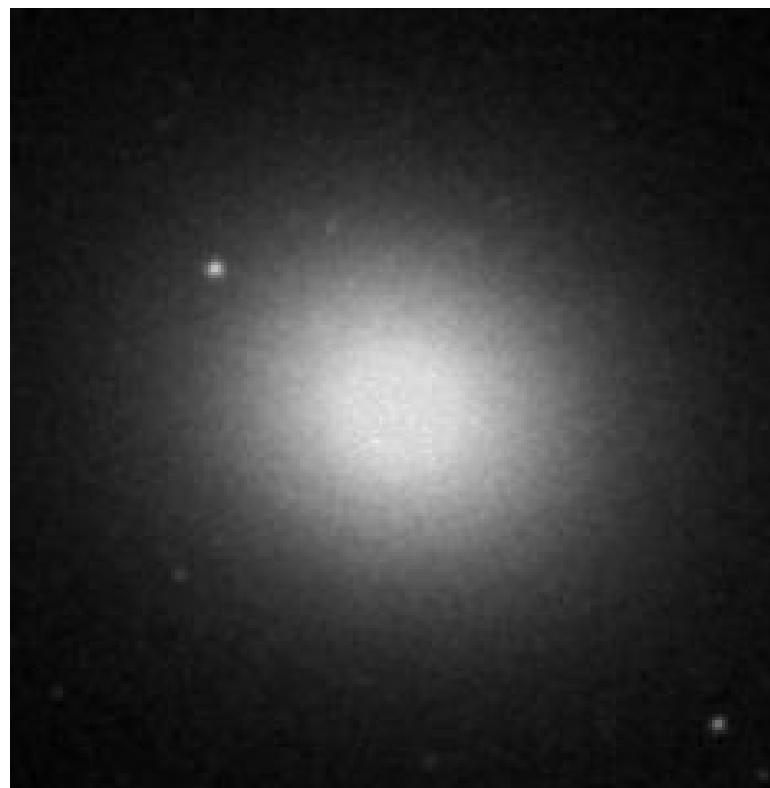
Outils numériques

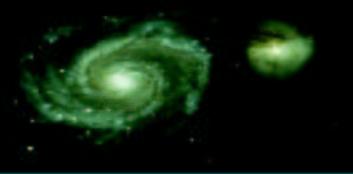
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

10^9 à 10^{13} étoiles, 10^4 à $2 \cdot 10^5$ pc de diamètre, pas de gaz, pas de poussières.





Galaxies elliptiques

Problème étudié

- Où sommes-nous ?
- Les galaxies
- La séquence de Hubble
- Galaxies spirales
- Galaxies elliptiques **selected**
- Autres systèmes
- Amas globulaires
- Amas ouverts
- Objectifs
- Attention !

Modélisation

Outils numériques

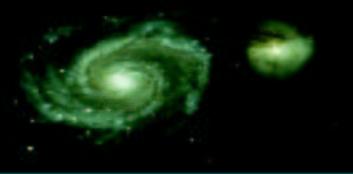
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

10^9 à 10^{13} étoiles, 10^4 à $2 \cdot 10^5$ pc de diamètre, pas de gaz, pas de poussières.





Galaxies elliptiques

Problème étudié

- Où sommes-nous ?
- Les galaxies
- La séquence de Hubble
- Galaxies spirales
- Galaxies elliptiques **selected**
- Autres systèmes
- Amas globulaires
- Amas ouverts
- Objectifs
- Attention !

Modélisation

Outils numériques

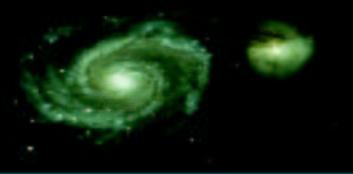
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

10^9 à 10^{13} étoiles, 10^4 à $2 \cdot 10^5$ pc de diamètre, pas de gaz, pas de poussières.





Galaxies elliptiques

Problème étudié

- Où sommes-nous ?
- Les galaxies
- La séquence de Hubble
- Galaxies spirales
- Galaxies elliptiques**
- Autres systèmes
- Amas globulaires
- Amas ouverts
- Objectifs
- Attention !

Modélisation

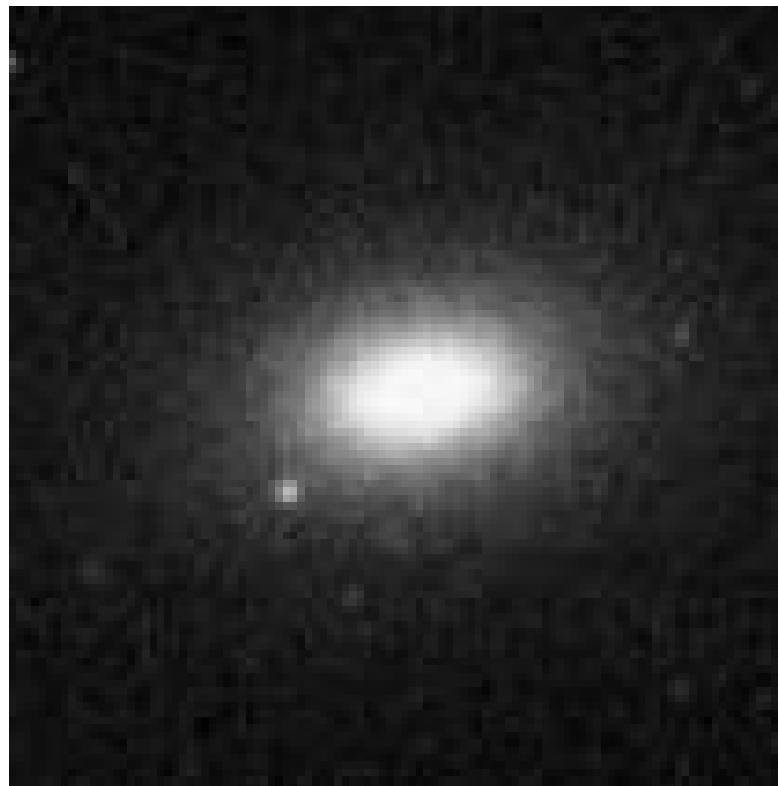
Outils numériques

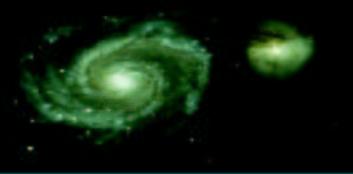
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

10^9 à 10^{13} étoiles, 10^4 à $2 \cdot 10^5$ pc de diamètre, pas de gaz, pas de poussières.





Galaxies elliptiques

Problème étudié

- Où sommes-nous ?
- Les galaxies
- La séquence de Hubble
- Galaxies spirales
- Galaxies elliptiques**
- Autres systèmes
- Amas globulaires
- Amas ouverts
- Objectifs
- Attention !

Modélisation

Outils numériques

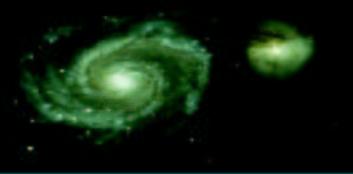
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

10^9 à 10^{13} étoiles, 10^4 à $2 \cdot 10^5$ pc de diamètre, pas de gaz, pas de poussières.





Galaxies elliptiques

Problème étudié

- Où sommes-nous ?
- Les galaxies
- La séquence de Hubble
- Galaxies spirales
- Galaxies elliptiques **selected**
- Autres systèmes
- Amas globulaires
- Amas ouverts
- Objectifs
- Attention !

Modélisation

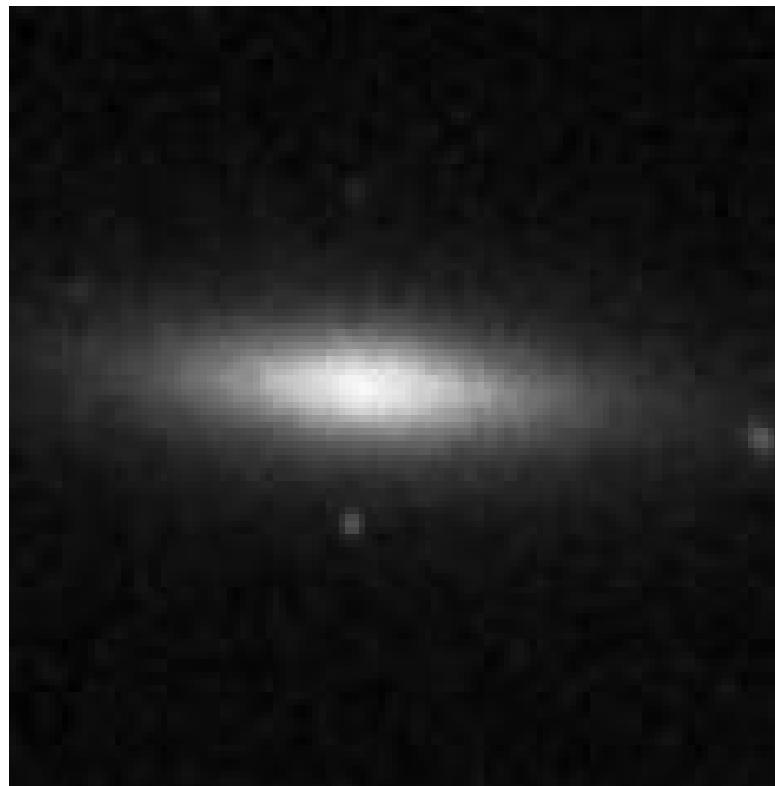
Outils numériques

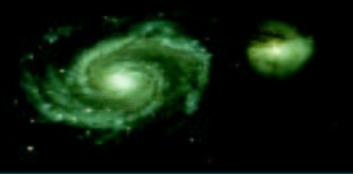
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

10^9 à 10^{13} étoiles, 10^4 à $2 \cdot 10^5$ pc de diamètre, pas de gaz, pas de poussières.





Autres systèmes

Problème étudié

- Où sommes-nous ?
- Les galaxies
- La séquence de Hubble
- Galaxies spirales
- Galaxies elliptiques
- Autres systèmes
- Amas globulaires
- Amas ouverts
- Objectifs
- Attention !

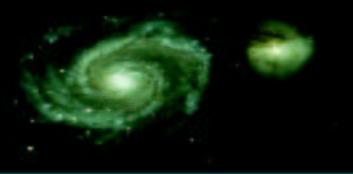
Modélisation

Outils numériques

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion



Autres systèmes

Problème étudié

- Où sommes-nous ?
- Les galaxies
- La séquence de Hubble
- Galaxies spirales
- Galaxies elliptiques
- Autres systèmes
- Amas globulaires
- Amas ouverts
- Objectifs
- Attention !

Modélisation

Outils numériques

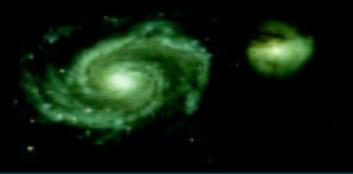
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

Amas globulaires

Il en existe entre 150 et 200 dans la Voie Lactée.



Autres systèmes

Problème étudié

- Où sommes-nous ?
- Les galaxies
- La séquence de Hubble
- Galaxies spirales
- Galaxies elliptiques
- Autres systèmes
- Amas globulaires
- Amas ouverts
- Objectifs
- Attention !

Modélisation

Outils numériques

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

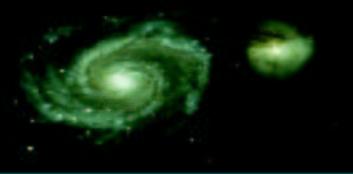
Conclusion

Amas globulaires

Il en existe entre 150 et 200 dans la Voie Lactée.

Amas ouverts

Nombreux, mais beaucoup ont disparu du fait de leur instabilité dynamique.



Amas globulaires

Problème étudié

- Où sommes-nous ?
- Les galaxies
- La séquence de Hubble
- Galaxies spirales
- Galaxies elliptiques
- Autres systèmes
- Amas globulaires ●
- Amas ouverts
- Objectifs
- Attention !

Modélisation

Outils numériques

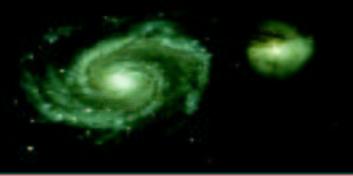
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

10^3 à 10^6 étoiles, 10 à 50 pc de diamètre, pas de gaz, pas de poussières.





Amas ouverts

Problème étudié

- Où sommes-nous ?
- Les galaxies
- La séquence de Hubble
- Galaxies spirales
- Galaxies elliptiques
- Autres systèmes
- Amas globulaires
- Amas ouverts selected
- Objectifs
- Attention !

Modélisation

Outils numériques

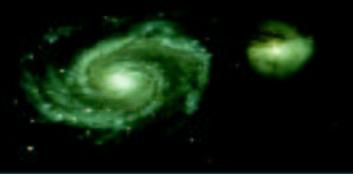
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

10^2 à 10^3 étoiles, 3 à 10 pc de diamètre, pas de gaz, pas de poussières.





Objectifs

Problème étudié

- Où sommes-nous ?
- Les galaxies
- La séquence de Hubble
- Galaxies spirales
- Galaxies elliptiques
- Autres systèmes
- Amas globulaires
- Amas ouverts
- Objectifs
- Attention !

Modélisation

Outils numériques

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

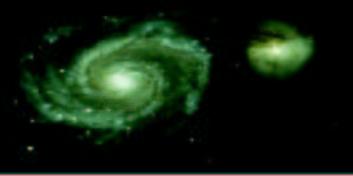
Résultats

Conclusion

Étudier la dynamique des systèmes auto-gravitants

Systèmes auto-gravitants considérés :

- Galaxies spirales
- Galaxies elliptiques
- Amas globulaires



Attention !

Problème étudié

- Où sommes-nous ?
- Les galaxies
- La séquence de Hubble
- Galaxies spirales
- Galaxies elliptiques
- Autres systèmes
- Amas globulaires
- Amas ouverts
- Objectifs
- Attention !

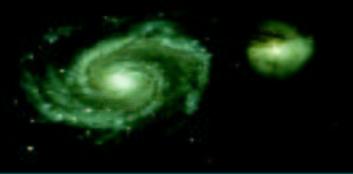
Modélisation

Outils numériques

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion



Attention !

Problème étudié

- Où sommes-nous ?
- Les galaxies
- La séquence de Hubble
- Galaxies spirales
- Galaxies elliptiques
- Autres systèmes
- Amas globulaires
- Amas ouverts
- Objectifs
- Attention !

Modélisation

Outils numériques

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

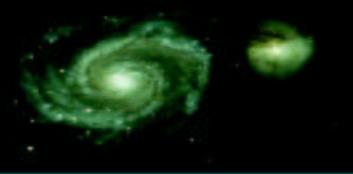
Résultats

Conclusion

Galaxies spirales : gaz, poussières.

Ces éléments doivent être modélisés !

Galaxies elliptiques, amas globulaires : systèmes à N corps



Problème étudié

Modélisation

- Théorème du viriel
- Temps caractéristiques
- Temps caractéristiques
- Modélisation analytique

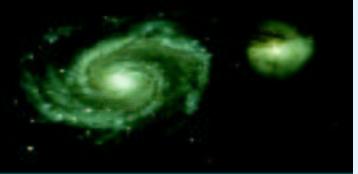
Outils numériques

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

Modélisation



Théorème du viriel

Problème étudié

Modélisation

- Théorème du viriel
- Temps caractéristiques
- Temps caractéristiques
- Modélisation analytique

Outils numériques

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

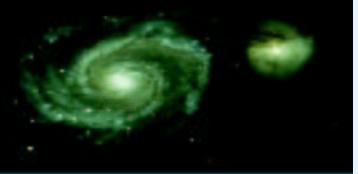
Résultats

Conclusion

Énergies cinétique K et potentielle U d'un système auto-gravitant :

$$K_{\alpha\beta} = \sum_{i=1}^N \frac{\mathbf{p}_\alpha^i \mathbf{p}_\beta^i}{2m_i} \quad \text{Tr}(K_{\alpha\beta}) = K$$

$$U_{\alpha\beta} = G \sum_{i \neq j=1}^N m_i m_j \frac{\mathbf{r}_\alpha^i (\mathbf{r}_\beta^j - \mathbf{r}_\beta^i)}{|\mathbf{r}^i - \mathbf{r}^j|^3} \quad \text{Tr}(U_{\alpha\beta}) = U$$



Théorème du viriel

Problème étudié

Modélisation

- Théorème du viriel
- Temps caractéristiques
- Temps caractéristiques
- Modélisation analytique

Outils numériques

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

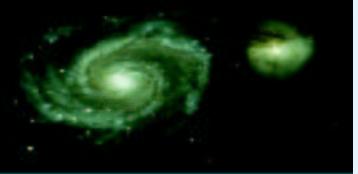
Conclusion

Énergies cinétique K et potentielle U d'un système auto-gravitant :

$$K_{\alpha\beta} = \sum_{i=1}^N \frac{\mathbf{p}_\alpha^i \mathbf{p}_\beta^i}{2m_i} \quad \text{Tr}(K_{\alpha\beta}) = K$$

$$U_{\alpha\beta} = G \sum_{i \neq j=1}^N m_i m_j \frac{\mathbf{r}_\alpha^i (\mathbf{r}_\beta^j - \mathbf{r}_\beta^i)}{|\mathbf{r}^i - \mathbf{r}^j|^3} \quad \text{Tr}(U_{\alpha\beta}) = U$$

Théorème du viriel :



Théorème du viriel

Problème étudié

Modélisation

- Théorème du viriel
- Temps caractéristiques
- Temps caractéristiques
- Modélisation analytique

Outils numériques

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

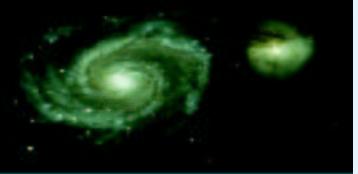
Énergies cinétique K et potentielle U d'un système auto-gravitant :

$$K_{\alpha\beta} = \sum_{i=1}^N \frac{\mathbf{p}_\alpha^i \mathbf{p}_\beta^i}{2m_i} \quad \text{Tr}(K_{\alpha\beta}) = K$$

$$U_{\alpha\beta} = G \sum_{i \neq j=1}^N m_i m_j \frac{\mathbf{r}_\alpha^i (\mathbf{r}_\beta^j - \mathbf{r}_\beta^i)}{|\mathbf{r}^i - \mathbf{r}^j|^3} \quad \text{Tr}(U_{\alpha\beta}) = U$$

Théorème du viriel :

$$\frac{1}{2} \frac{d^2}{dt^2} \text{Tr}(I_{\alpha\beta}) = 2K + U \quad I_{\alpha\beta} = \sum_{i=1}^N m_i \mathbf{r}_\alpha^i \mathbf{r}_\beta^i$$



Théorème du viriel

Problème étudié

Modélisation

- Théorème du viriel
- Temps caractéristiques
- Temps caractéristiques
- Modélisation analytique

Outils numériques

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

Énergies cinétique K et potentielle U d'un système auto-gravitant :

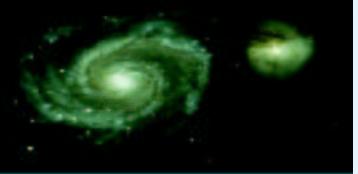
$$K_{\alpha\beta} = \sum_{i=1}^N \frac{\mathbf{p}_\alpha^i \mathbf{p}_\beta^i}{2m_i} \quad \text{Tr}(K_{\alpha\beta}) = K$$

$$U_{\alpha\beta} = G \sum_{i \neq j=1}^N m_i m_j \frac{\mathbf{r}_\alpha^i (\mathbf{r}_\beta^j - \mathbf{r}_\beta^i)}{|\mathbf{r}^i - \mathbf{r}^j|^3} \quad \text{Tr}(U_{\alpha\beta}) = U$$

Théorème du viriel :

$$0 = 2K + U$$

pour un système à l'équilibre



Théorème du viriel

Problème étudié

Modélisation

- Théorème du viriel
- Temps caractéristiques
- Temps caractéristiques
- Modélisation analytique

Outils numériques

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

Énergies cinétique K et potentielle U d'un système auto-gravitant :

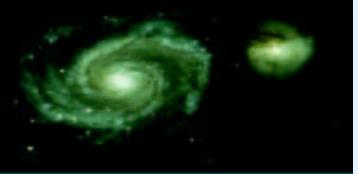
$$K_{\alpha\beta} = \sum_{i=1}^N \frac{\mathbf{p}_\alpha^i \mathbf{p}_\beta^i}{2m_i} \quad \text{Tr}(K_{\alpha\beta}) = K$$

$$U_{\alpha\beta} = G \sum_{i \neq j=1}^N m_i m_j \frac{\mathbf{r}_\alpha^i (\mathbf{r}_\beta^j - \mathbf{r}_\beta^i)}{|\mathbf{r}^i - \mathbf{r}^j|^3} \quad \text{Tr}(U_{\alpha\beta}) = U$$

Théorème du viriel :

Rapport du viriel $\mathcal{V} = 2K/U = -1$

pour un système à l'équilibre



Temps caractéristiques

Problème étudié

Modélisation

- Théorème du viriel
- Temps caractéristiques
- Temps caractéristiques
- Modélisation analytique

Outils numériques

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

Temps dynamique t_d = temps mis par une particule pour traverser le système

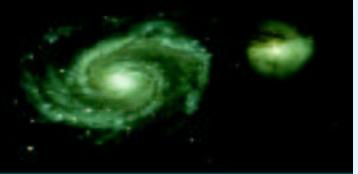
$$t_d \approx \left(\sqrt{G\rho_m} \right)^{-1}$$

où ρ_m = densité moyenne du système.

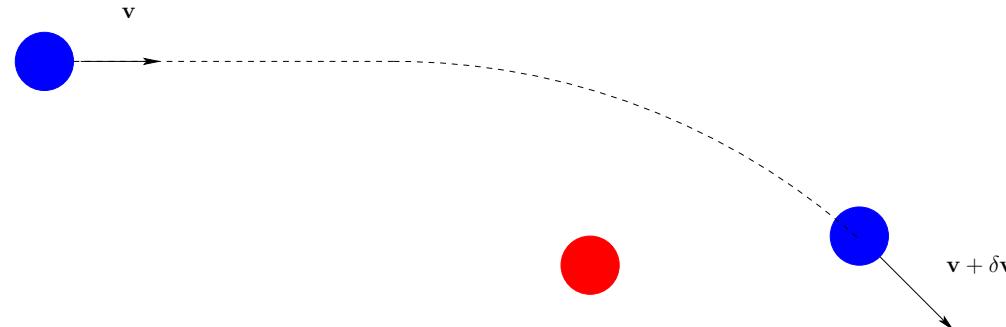
$t_d \approx 10^6$ années pour un amas ouvert

$t_d \approx 10^6$ années pour un amas globulaire

$t_d \approx 10^8$ années pour une galaxie elliptique



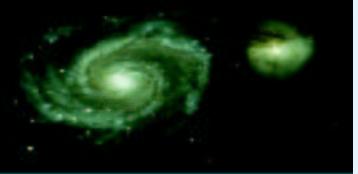
Temps caractéristiques



Temps de relaxation par collision t_r = temps nécessaire pour que $\int \delta v^2 / v^2 = 1$

$$t_r \approx \frac{N}{\ln N} t_d$$

$t_r \approx 10^8$ années pour un amas ouvert
 $t_r \approx 10^{10}$ années pour un amas globulaire
 $t_r \approx 10^{17}$ années pour une galaxie elliptique



Modélisation analytique

N particules ponctuelles, de coordonnées $\mathbf{r}_1, \dots, \mathbf{r}_N$ et
d'impulsions $\mathbf{p}_1, \dots, \mathbf{p}_N$.

Problème étudié

Modélisation

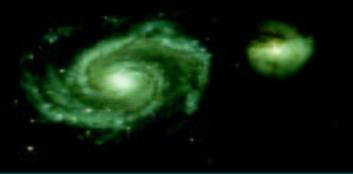
- Théorème du viriel
- Temps caractéristiques
- Temps caractéristiques
- Modélisation analytique

Outils numériques

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion



Modélisation analytique

N particules ponctuelles, de coordonnées $\mathbf{r}_1, \dots, \mathbf{r}_N$ et
d'impulsions $\mathbf{p}_1, \dots, \mathbf{p}_N$.

■ Approche directe : Problème à $N \gg 1$ corps ...

Problème étudié

Modélisation

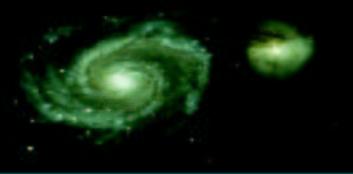
- Théorème du viriel
- Temps caractéristiques
- Temps caractéristiques
- Modélisation analytique

Outils numériques

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion



Modélisation analytique

Problème étudié

Modélisation

- Théorème du viriel
- Temps caractéristiques
- Temps caractéristiques
- Modélisation analytique

Outils numériques

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

N particules ponctuelles, de coordonnées $\mathbf{r}_1, \dots, \mathbf{r}_N$ et
d'impulsions $\mathbf{p}_1, \dots, \mathbf{p}_N$.

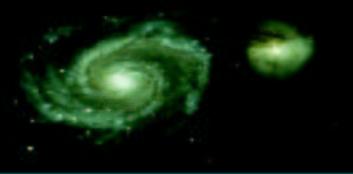
■ Approche directe : Problème à $N \gg 1$ corps ...

■ Approche statistique : BSC-Poisson

$$\begin{aligned} (\mathbf{r}_{1,\dots,N}, \mathbf{p}_{1,\dots,N}, t) &\rightarrow F(\mathbf{r}_{1,\dots,N}, \mathbf{p}_{1,\dots,N}, t) \\ &\rightarrow f(\mathbf{r}, \mathbf{p}, t) = \int F d\mathbf{r}_2 d\mathbf{p}_2 \cdots d\mathbf{r}_N d\mathbf{p}_N \end{aligned}$$

1. Poisson : $\Delta\psi = 4\pi Gm \int f d\mathbf{p}$

2. BSC : $\frac{\partial f}{\partial t} + \frac{\mathbf{p}}{m} \frac{\partial f}{\partial \mathbf{r}} - m \frac{\partial f}{\partial \mathbf{p}} \frac{\partial \psi}{\partial \mathbf{r}} = \text{Coll.}$



Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

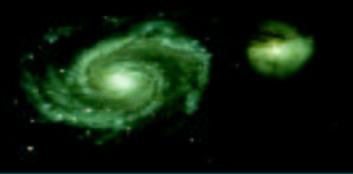
- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

Outils numériques



Codes particulaires

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

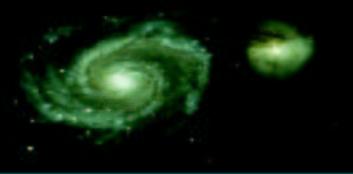
- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

Évolution d'une assemblée de particules au cours du temps.



Codes particulaires

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

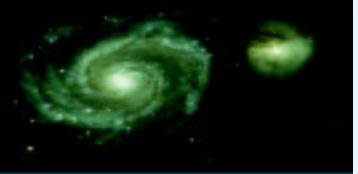
Conclusion

Évolution d'une assemblée de particules au cours du temps.

Deux étapes distinctes :

- Calcul de la force exercée sur chaque particule
- Évolution de la vitesse et de la position des particules

... divers algorithmes pour ces 2 étapes.



En pratique...

Problème étudié

Modélisation

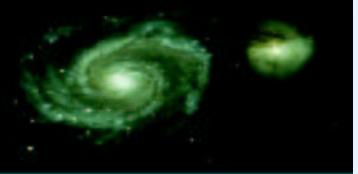
Outils numériques

- Codes particulaires
- En pratique... **En cours**
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion



En pratique...

La force dérive d'un potentiel

$$\mathbf{F}_i(\mathbf{r}) = -\frac{\partial}{\partial \mathbf{r}} m_i \psi(\mathbf{r})$$

où $\psi(\mathbf{r})$ est de la forme

$$\psi(\mathbf{r}) = -G \sum_j \frac{M_j}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}_j|}$$

Problème étudié

Modélisation

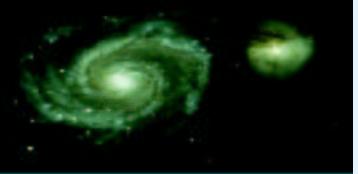
Outils numériques

- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion



En pratique...

La force dérive d'un potentiel

$$\mathbf{F}_i(\mathbf{r}) = -\frac{\partial}{\partial \mathbf{r}} m_i \psi(\mathbf{r})$$

où $\psi(\mathbf{r})$ est de la forme

$$\psi(\mathbf{r}) = -G \sum_j \frac{M_j}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}_j|}$$

Potentiels \Rightarrow Accélérations

Problème étudié

Modélisation

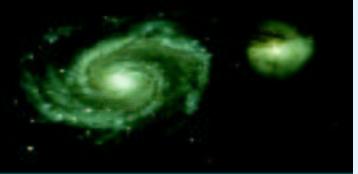
Outils numériques

- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion



En pratique...

La force dérive d'un potentiel

$$\mathbf{F}_i(\mathbf{r}) = -\frac{\partial}{\partial \mathbf{r}} m_i \psi(\mathbf{r})$$

où $\psi(\mathbf{r})$ est de la forme

$$\psi(\mathbf{r}) = -G \sum_j \frac{M_j}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}_j|}$$

Potentiels \Rightarrow Accélérations

Accélérations \Rightarrow Vitesses

Problème étudié

Modélisation

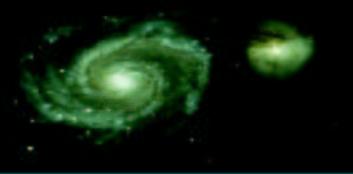
Outils numériques

- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion



En pratique...

La force dérive d'un potentiel

$$\mathbf{F}_i(\mathbf{r}) = -\frac{\partial}{\partial \mathbf{r}} m_i \psi(\mathbf{r})$$

où $\psi(\mathbf{r})$ est de la forme

$$\psi(\mathbf{r}) = -G \sum_j \frac{M_j}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}_j|}$$

Potentiels \Rightarrow Accélérations

Accélérations \Rightarrow Vitesses

Vitesses \Rightarrow Positions

Problème étudié

Modélisation

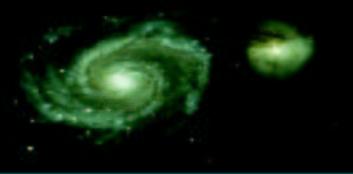
Outils numériques

- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion



Code Particule-Particule

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

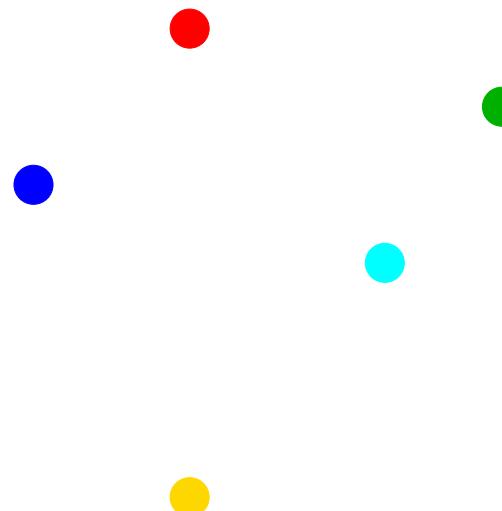
- Codes particulaires
- En pratique...
- **Code Particule-Particule**
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

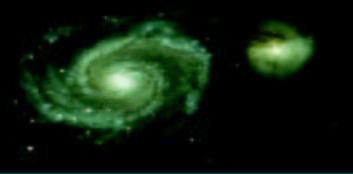
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

Calcul du potentiel exercé par chaque particule sur chaque autre particule :





Code Particule-Particule

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

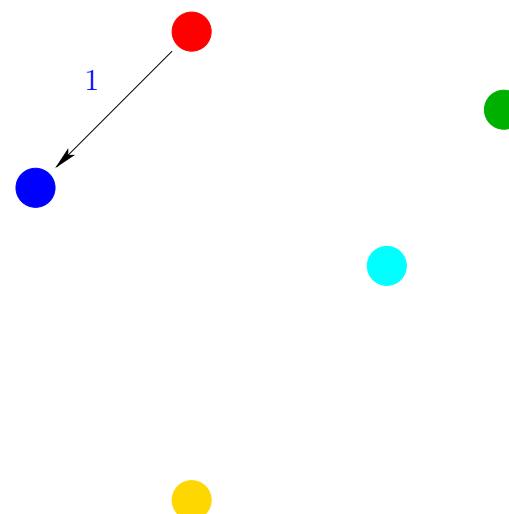
- Codes particulaires
- En pratique...
- **Code Particule-Particule**
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

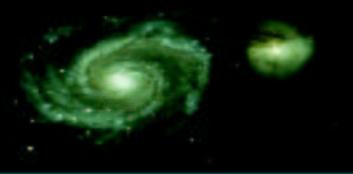
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

Calcul du potentiel exercé par chaque particule sur chaque autre particule :





Code Particule-Particule

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

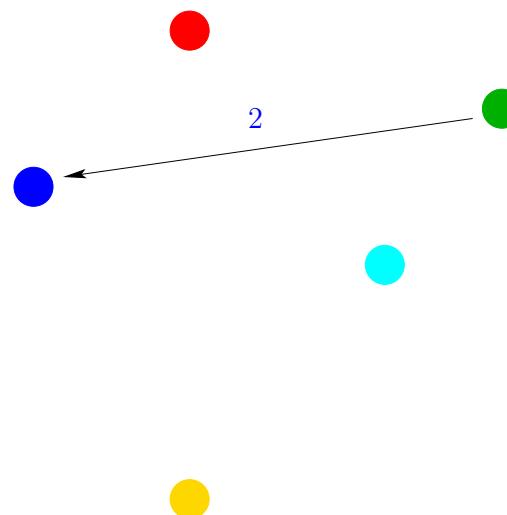
- Codes particulaires
- En pratique...
- **Code Particule-Particule**
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

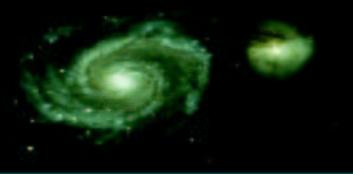
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

Calcul du potentiel exercé par chaque particule sur chaque autre particule :





Code Particule-Particule

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

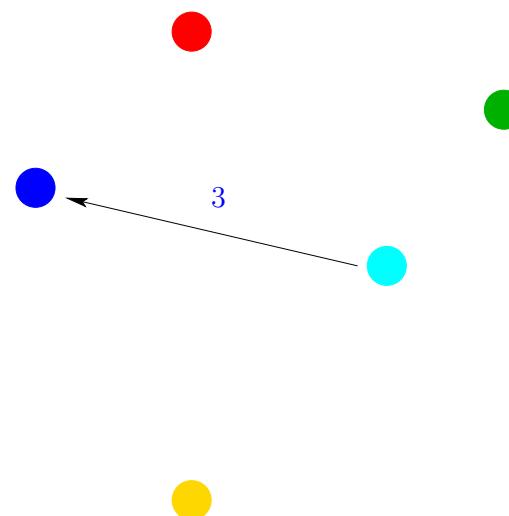
- Codes particulaires
- En pratique...
- **Code Particule-Particule**
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

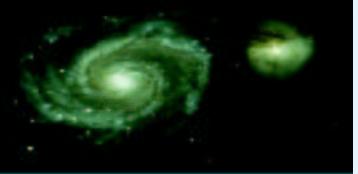
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

Calcul du potentiel exercé par chaque particule sur chaque autre particule :





Code Particule-Particule

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

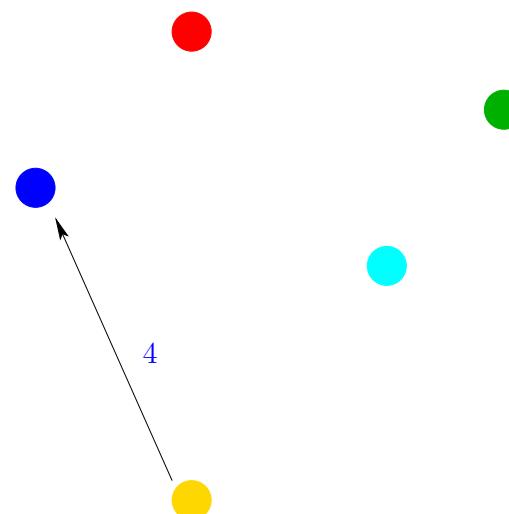
- Codes particulaires
- En pratique...
- **Code Particule-Particule**
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

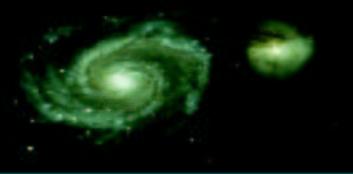
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

Calcul du potentiel exercé par chaque particule sur chaque autre particule :





Code Particule-Particule

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

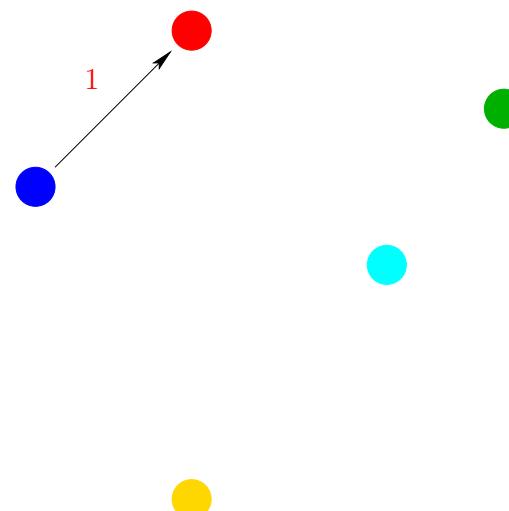
- Codes particulaires
- En pratique...
- **Code Particule-Particule**
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

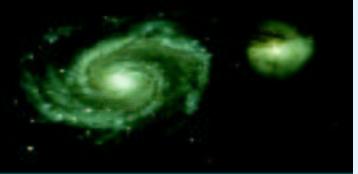
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

Calcul du potentiel exercé par chaque particule sur chaque autre particule :





Code Particule-Particule

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

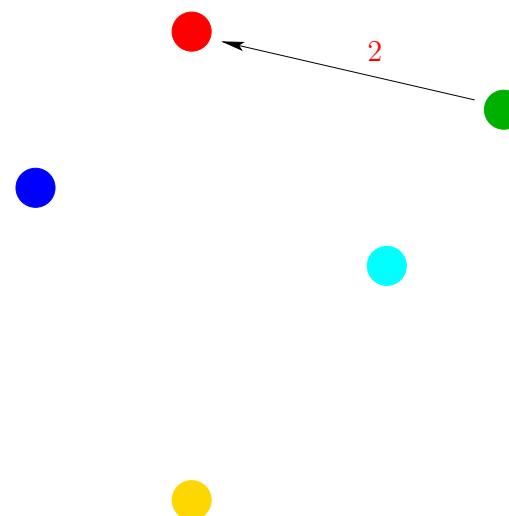
- Codes particulaires
- En pratique...
- **Code Particule-Particule**
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

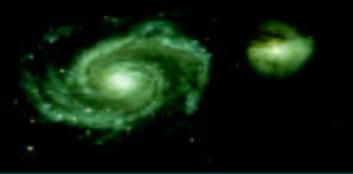
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

Calcul du potentiel exercé par chaque particule sur chaque autre particule :





Code Particule-Particule

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

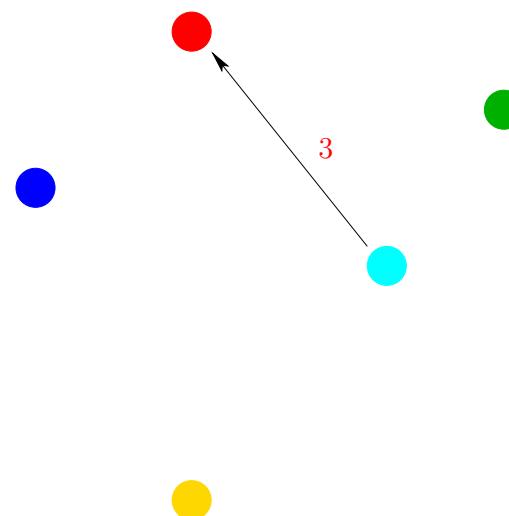
- Codes particulaires
- En pratique...
- **Code Particule-Particule**
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

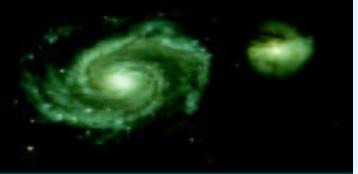
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

Calcul du potentiel exercé par chaque particule sur chaque autre particule :





Code Particule-Particule

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

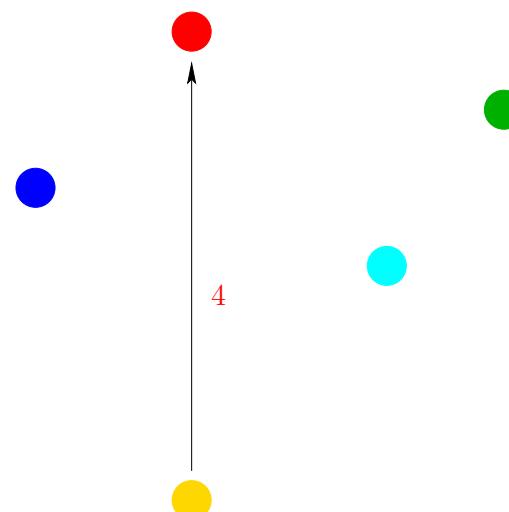
- Codes particulaires
- En pratique...
- **Code Particule-Particule**
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

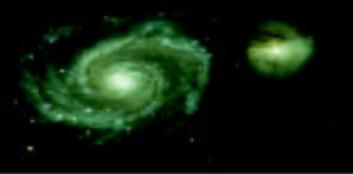
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

Calcul du potentiel exercé par chaque particule sur chaque autre particule :





Code Particule-Particule

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

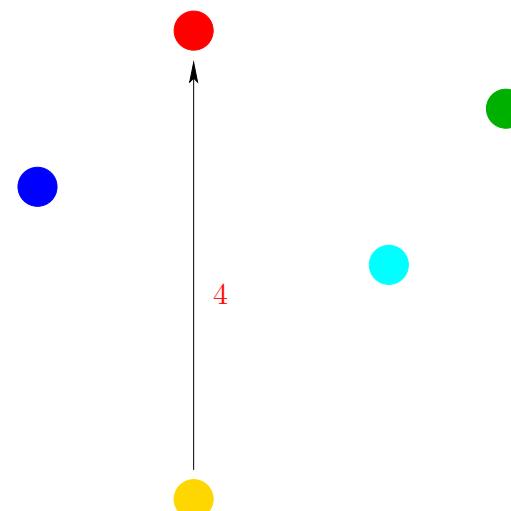
- Codes particulaires
- En pratique...
- **Code Particule-Particule**
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

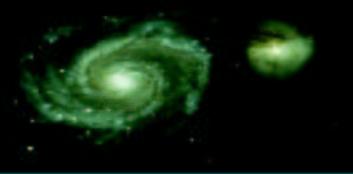
Résultats

Conclusion

Calcul du potentiel exercé par chaque particule sur chaque autre particule :



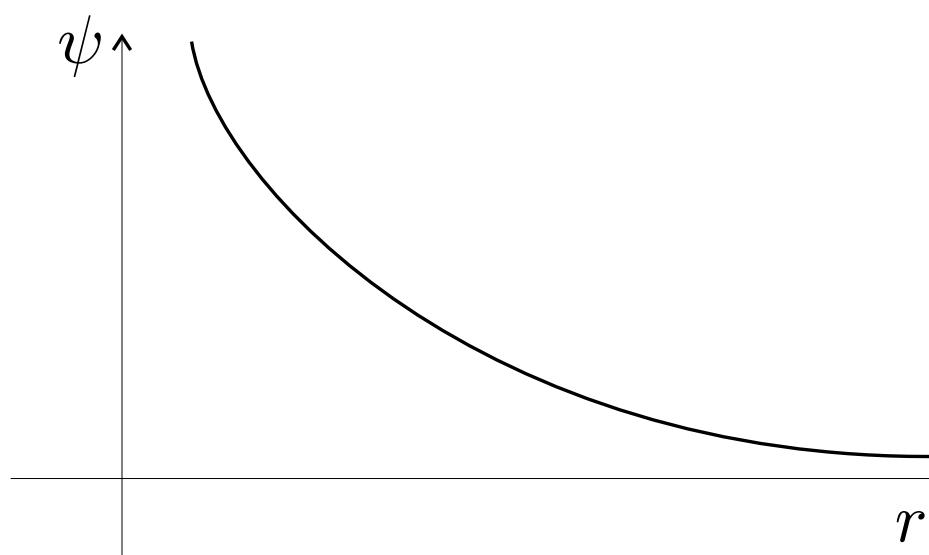
$$1 = 1 : \text{Schéma } \mathcal{O}(N^2)$$



Potentiel adouci (1)

Code Particule-Particule (PP)

$$\psi_i = -G \sum_{j \neq i} \frac{m_j}{|\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j|}$$



Singularité pour $\mathbf{r}_i = \mathbf{r}_j \implies$ Problème numérique

Problème étudié

Modélisation

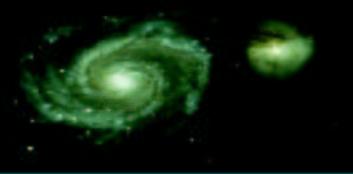
Outils numériques

- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1) **Selected**
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

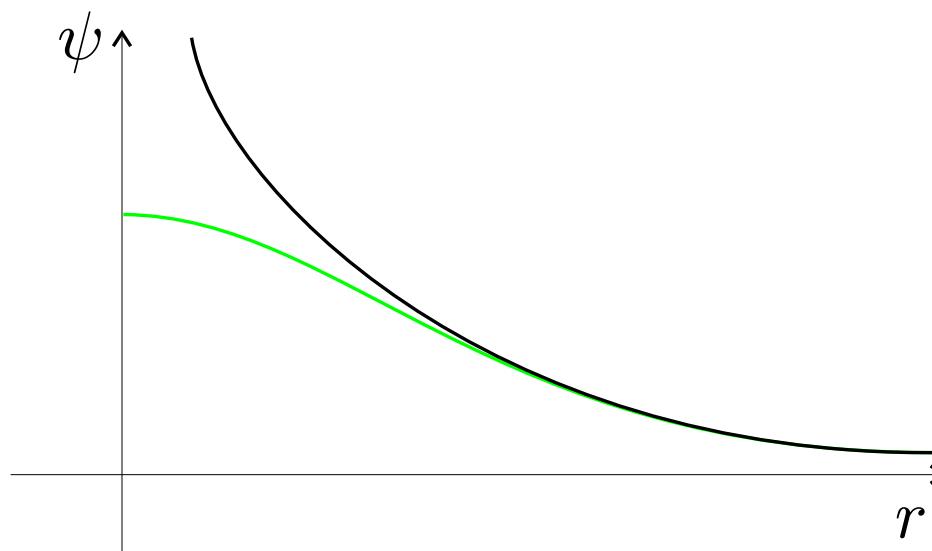
Conclusion



Potentiel adouci (1)

Code Particule-Particule (PP)

$$\psi_i = -G \sum_{j \neq i} \frac{m_j}{|\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j|} \longrightarrow \psi_i = -G \sum_{j \neq i} \frac{m_j}{\left((\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j)^2 + \varepsilon^2 \right)^{1/2}}$$



Adoucissement de type 1

Problème étudié

Modélisation

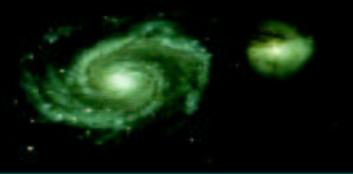
Outils numériques

- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

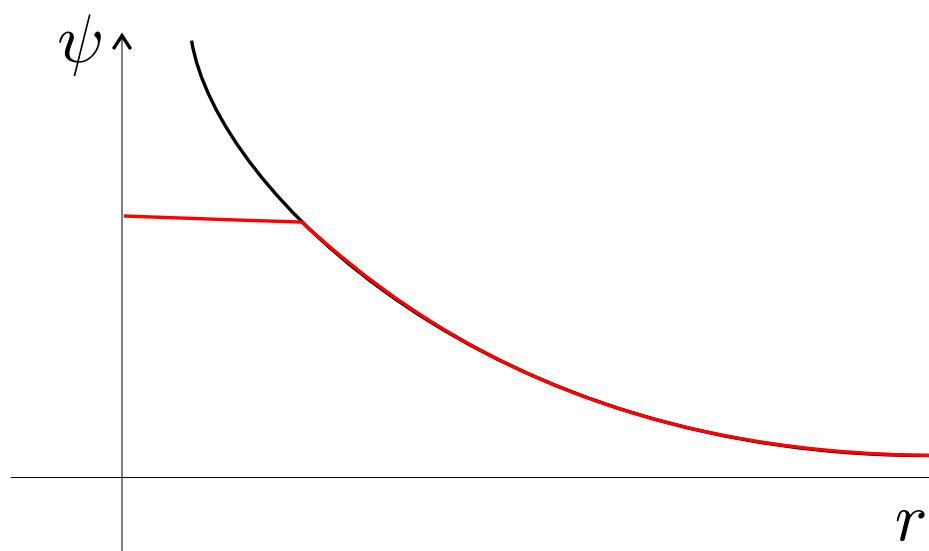
Conclusion



Potentiel adouci (1)

Code Particule-Particule (PP)

$$\psi_i = -G \sum_{j \neq i} \frac{m_j}{|\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j|} \longrightarrow \psi_i = -G \sum_{j \neq i} \frac{m_j}{\max(|\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j|, \varepsilon)}$$



Adoucissement de type 2

Problème étudié

Modélisation

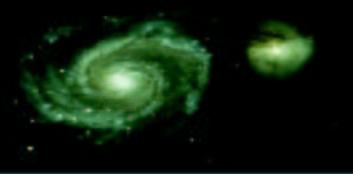
Outils numériques

- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1) **Selected**
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion



Code Particule-Grille (1)

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

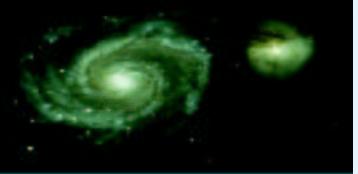
- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1) **(selected)**
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

Particule-Grille = PM pour Particle-Mesh
(certains disent Particule-Maille en français)



Code Particule-Grille (1)

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1) **selected**
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

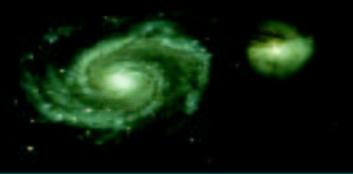
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

Particule-Grille = PM pour Particle-Mesh
(certains disent Particule-Maille en français)

Division de l'espace en une grille J^3



Code Particule-Grille (1)

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)**
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

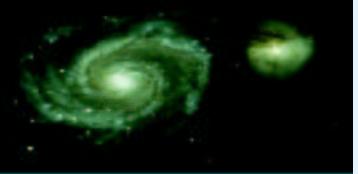
Résultats

Conclusion

Particule-Grille = PM pour Particle-Mesh
(certains disent Particule-Maille en français)

Division de l'espace en une grille J^3

Calcul du potentiel entre chaque cellule de la grille et non entre
chaque particule.



Code Particule-Grille (2)

Problème étudié

Modélisation

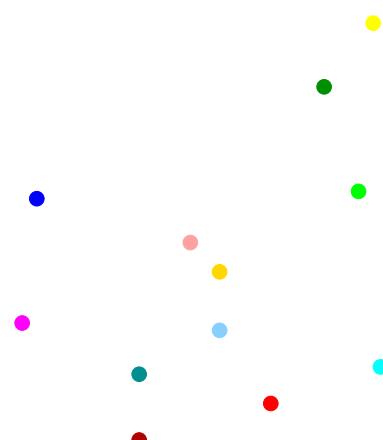
Outils numériques

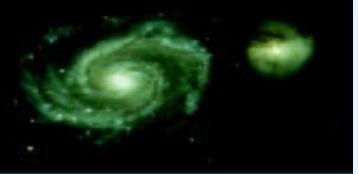
- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)**
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion





Code Particule-Grille (2)

Problème étudié

Modélisation

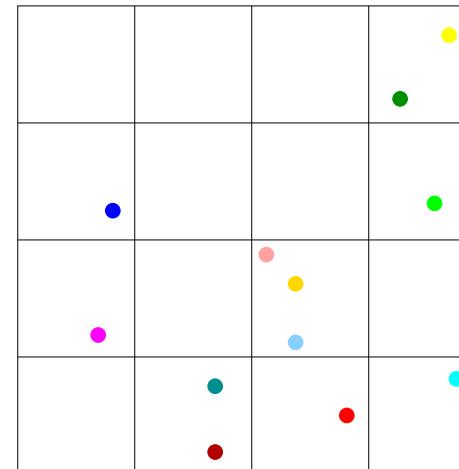
Outils numériques

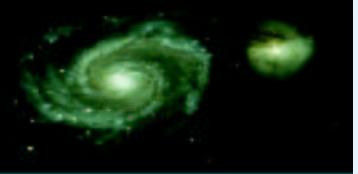
- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)**
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion





Code Particule-Grille (2)

Problème étudié

Modélisation

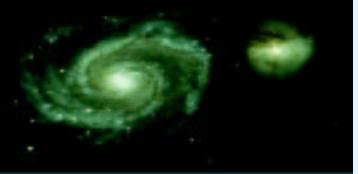
Outils numériques

- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)**
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion



Code Particule-Grille (2)

Problème étudié

Modélisation

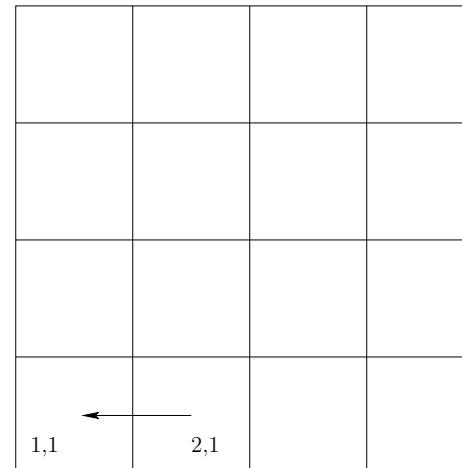
Outils numériques

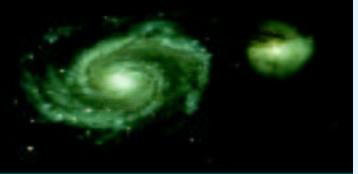
- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)**
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion





Code Particule-Grille (2)

Problème étudié

Modélisation

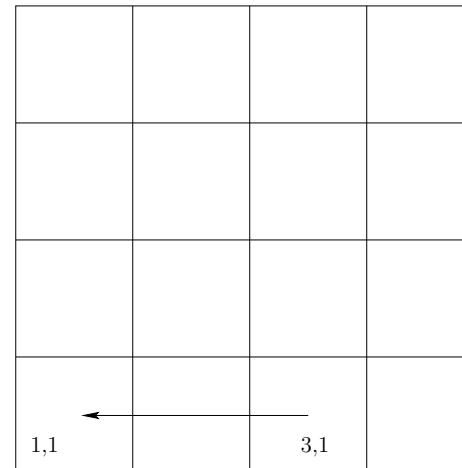
Outils numériques

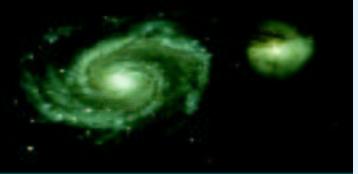
- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)**
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion





Code Particule-Grille (2)

Problème étudié

Modélisation

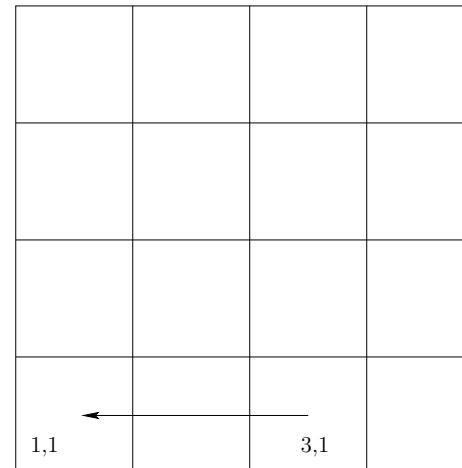
Outils numériques

- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)**
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

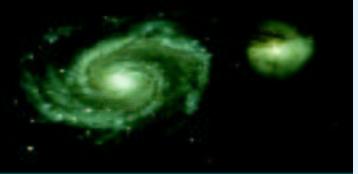
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion



Complexité



Code Particule-Grille (2)

Problème étudié

Modélisation

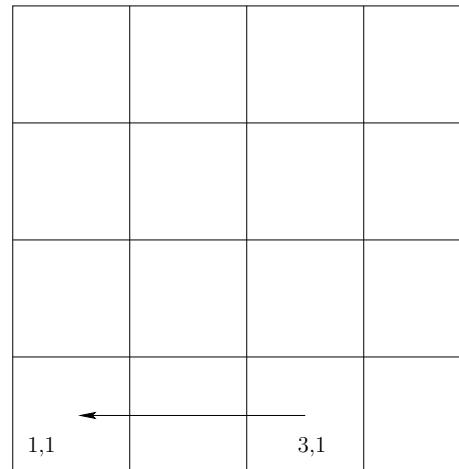
Outils numériques

- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)**
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

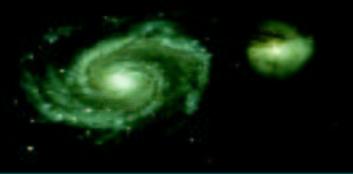
Résultats

Conclusion



Complexité

■ $\mathcal{O}(J^6)$ dans l'espace direct



Code Particule-Grille (2)

Problème étudié

Modélisation

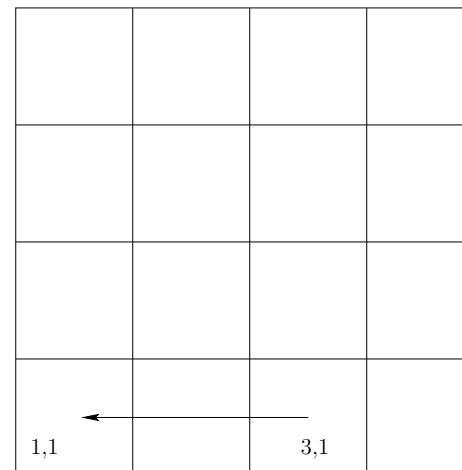
Outils numériques

- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)**
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

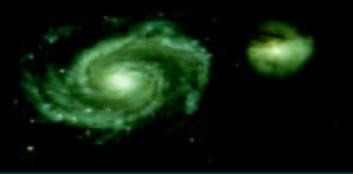
Résultats

Conclusion



Complexité

- $\mathcal{O}(J^6)$ dans l'espace direct
- ψ : convolution discrète $\Rightarrow \mathcal{O}(J^3 \ln(J))$ dans l'espace réciproque



Code Particule-Grille (3)

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

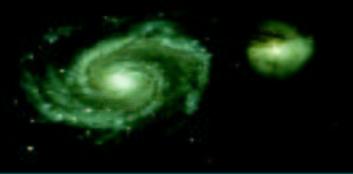
- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)**
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

Problème : approximation valable seulement si la densité est à peu près homogène.



Code Particule-Grille (3)

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)**
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

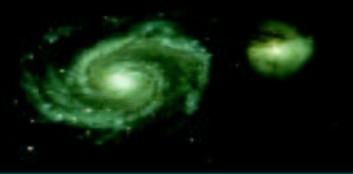
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

Problème : approximation valable seulement si la densité est à peu près homogène.

Sinon : contraste de densité non pris en compte dans les cellules voisines



Code Particule-Grille (3)

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)**
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

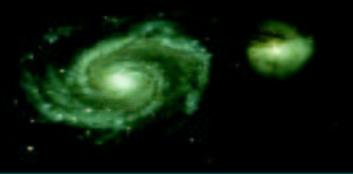
Résultats

Conclusion

Problème : approximation valable seulement si la densité est à peu près homogène.

Sinon : contraste de densité non pris en compte dans les cellules voisines

⇒ le potentiel n'est plus approché correctement.



Code Particule-Grille (4)

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

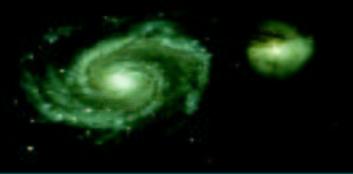
- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)**
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

Évolution des codes PM



Code Particule-Grille (4)

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)**
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

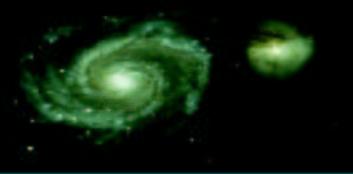
Évolution des codes PM

■ les codes P³M

À grande échelle : PM

À courte échelle : PP

Prise en compte des contrastes de densités à petite échelle,
mais augmentation du temps de calcul...



Code Particule-Grille (4)

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)**
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

Évolution des codes PM

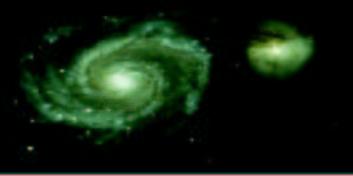
■ les codes P³M

À grande échelle : PM

À courte échelle : PP

Prise en compte des contrastes de densités à petite échelle,
mais augmentation du temps de calcul...

■ Codes à grille adaptative (sur la densité, ...)



Codes en arbre : Treecode

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

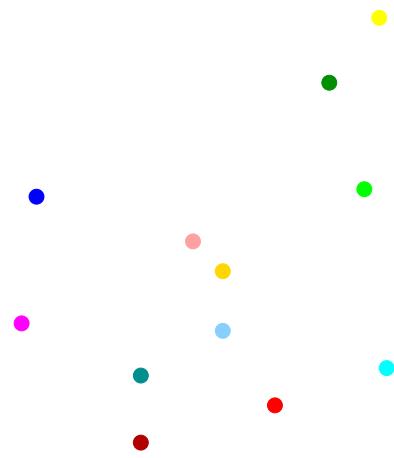
- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)**
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

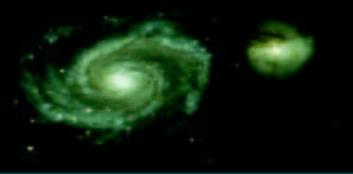
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

Barnes et Hut 1986





Codes en arbre : Treecode

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

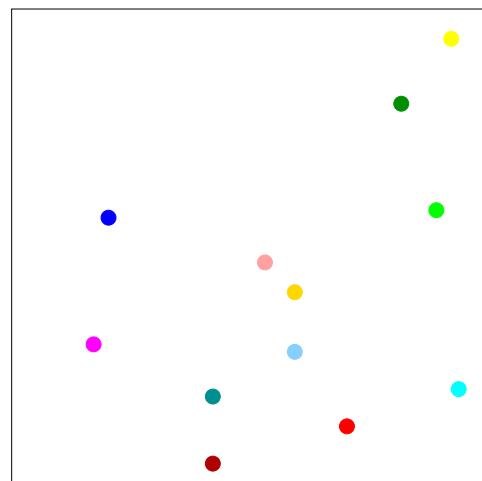
- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)**
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

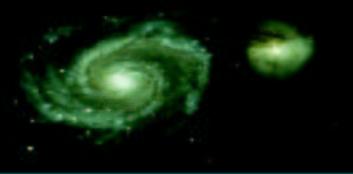
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

Barnes et Hut 1986





Codes en arbre : Treecode

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

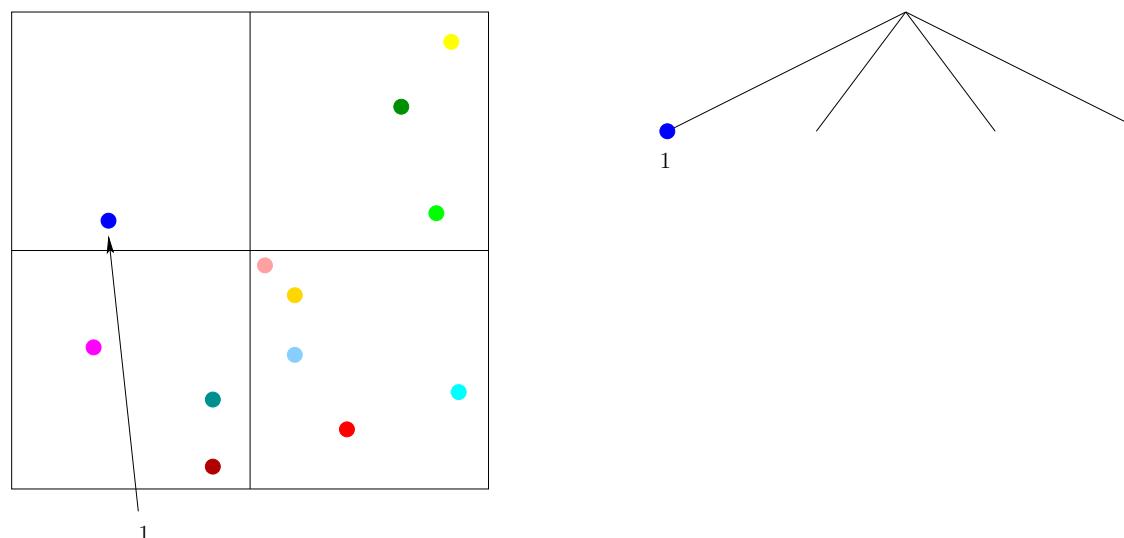
- Codes particulières
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)**
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

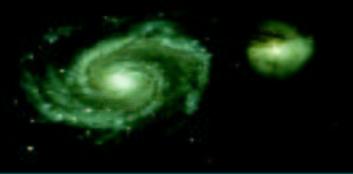
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

Barnes et Hut 1986





Codes en arbre : Treecode

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

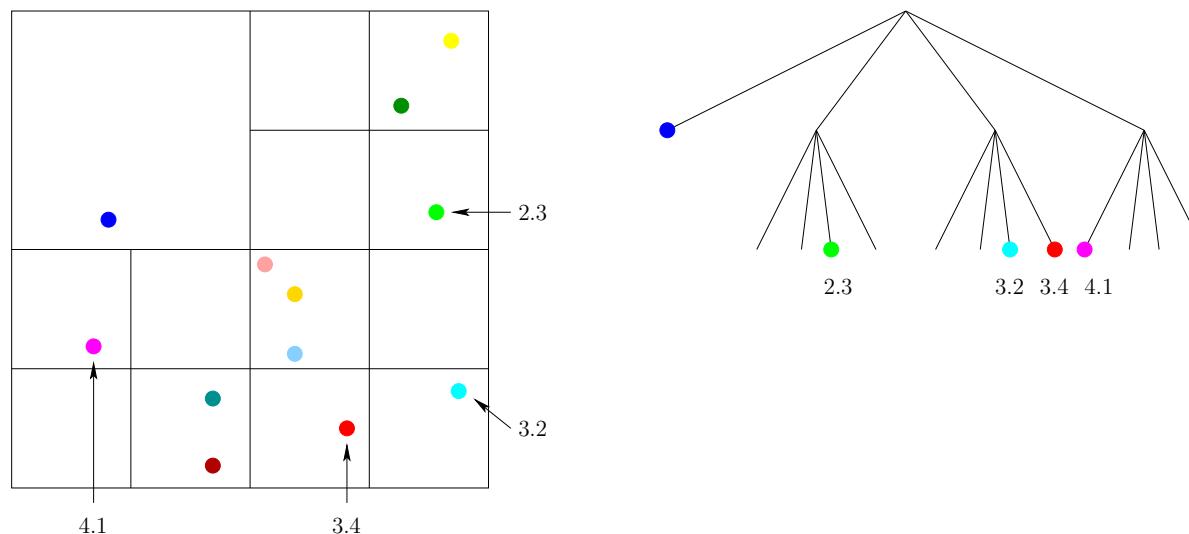
- Codes particulières
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)**
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

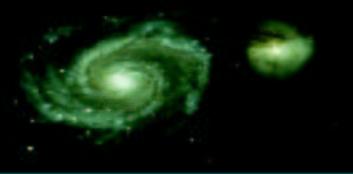
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

Barnes et Hut 1986





Codes en arbre : Treecode

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

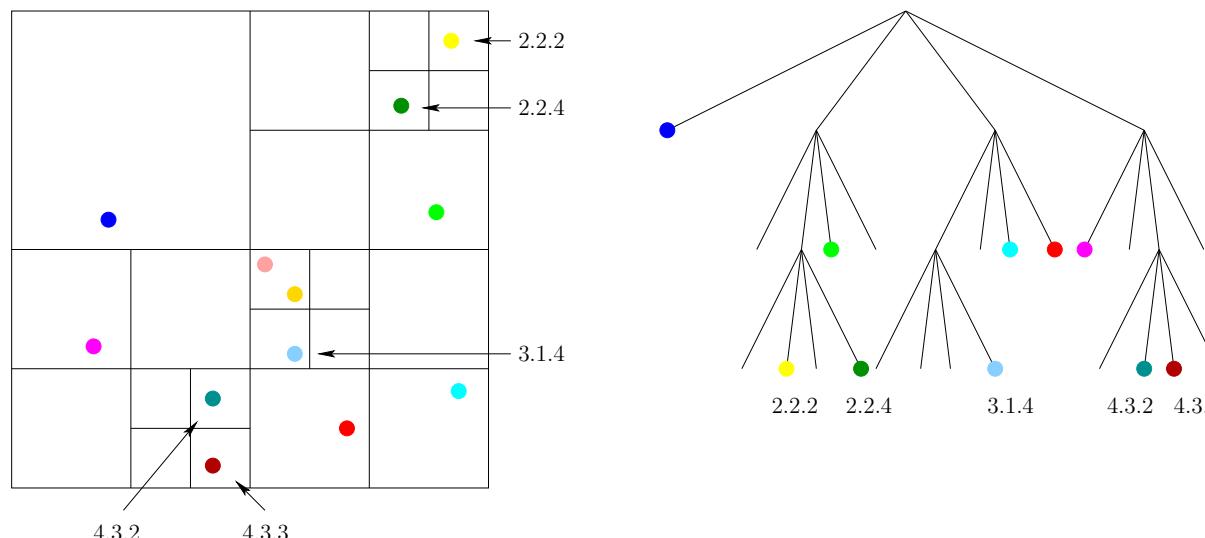
- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)**
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

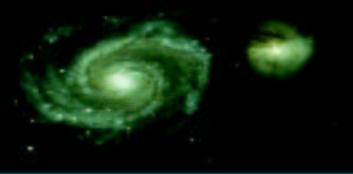
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

Barnes et Hut 1986





Codes en arbre : Treecode

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

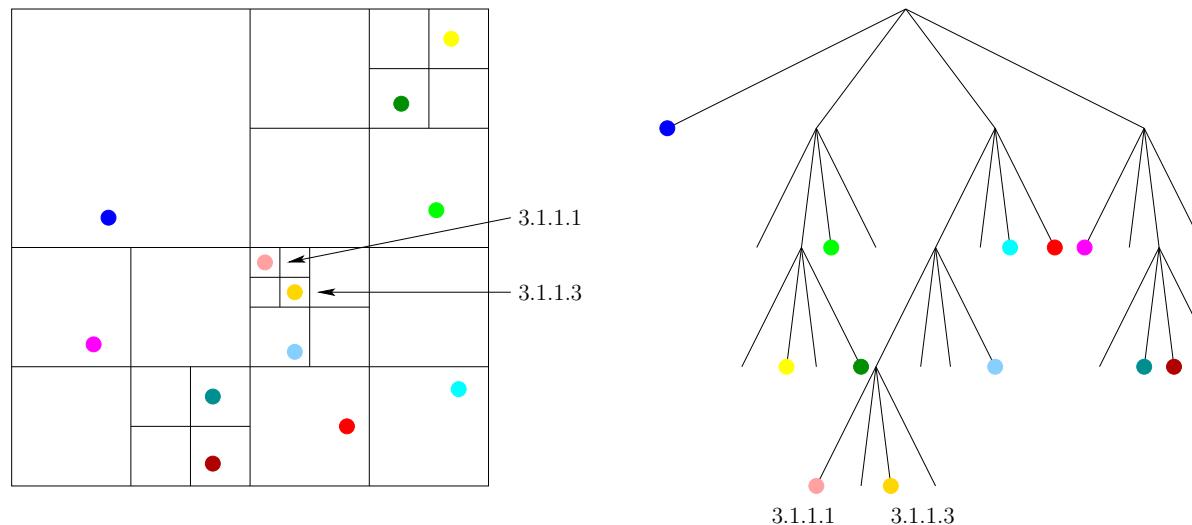
- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)**
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

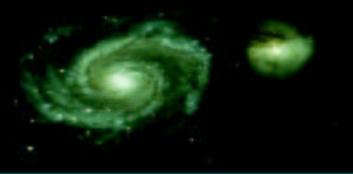
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

Barnes et Hut 1986





Principe du Treecode (2)

Problème étudié

Modélisation

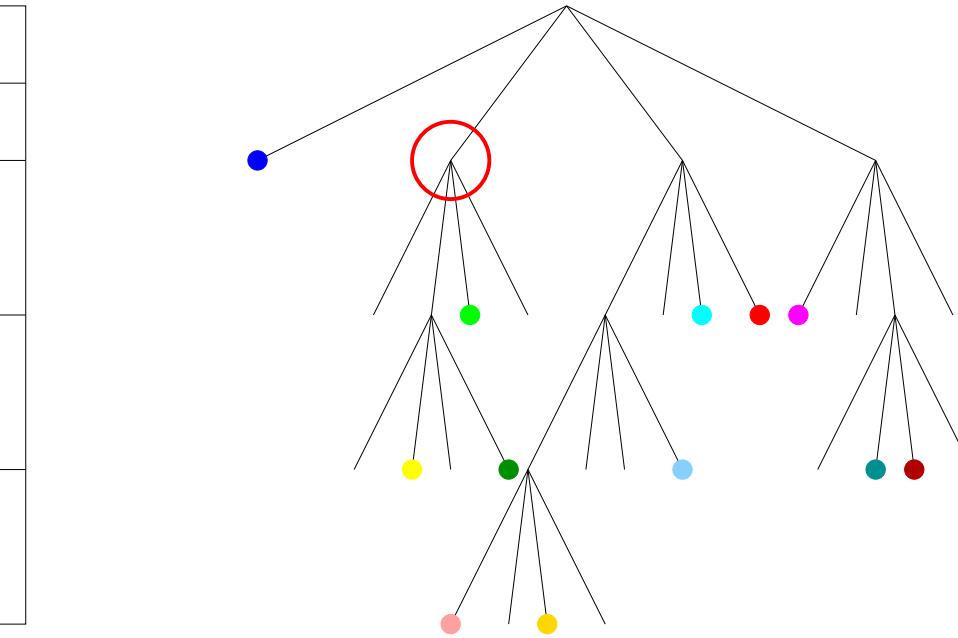
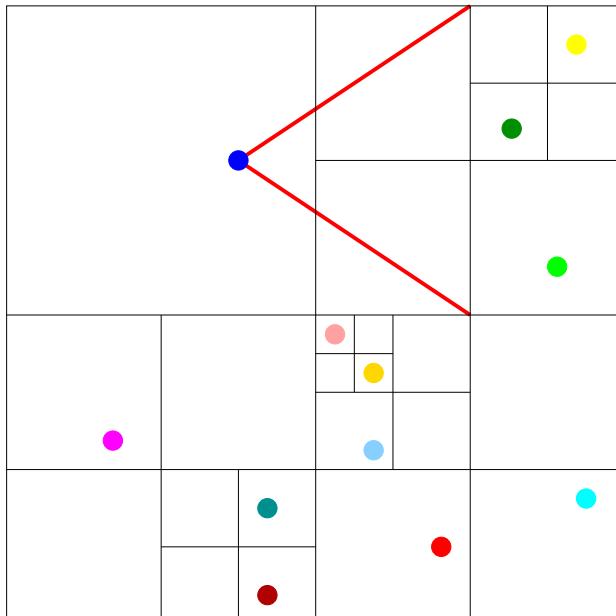
Outils numériques

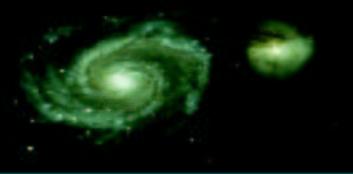
- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion





Principe du Treecode (2)

Problème étudié

Modélisation

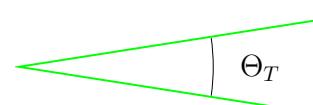
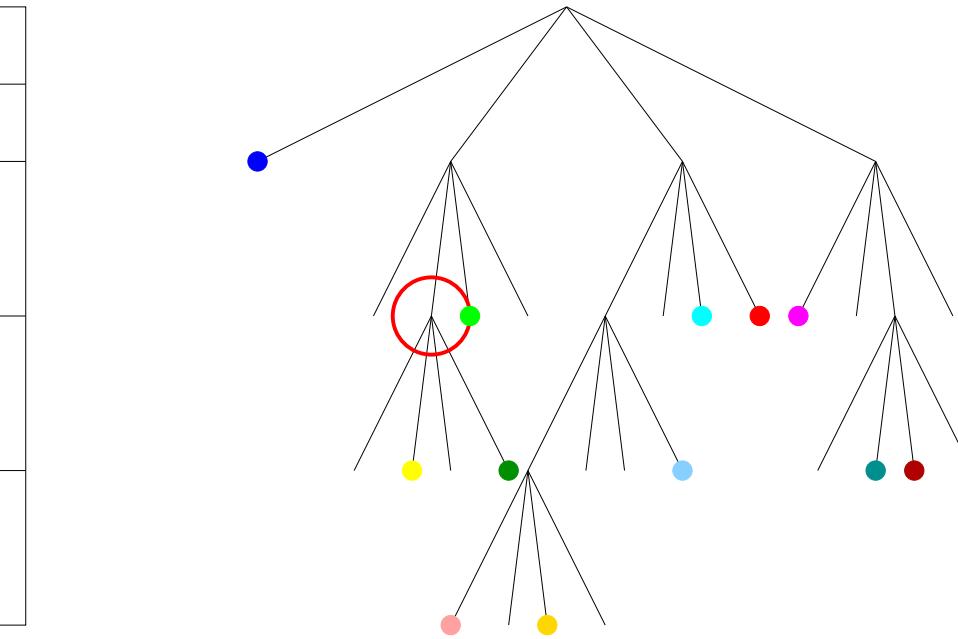
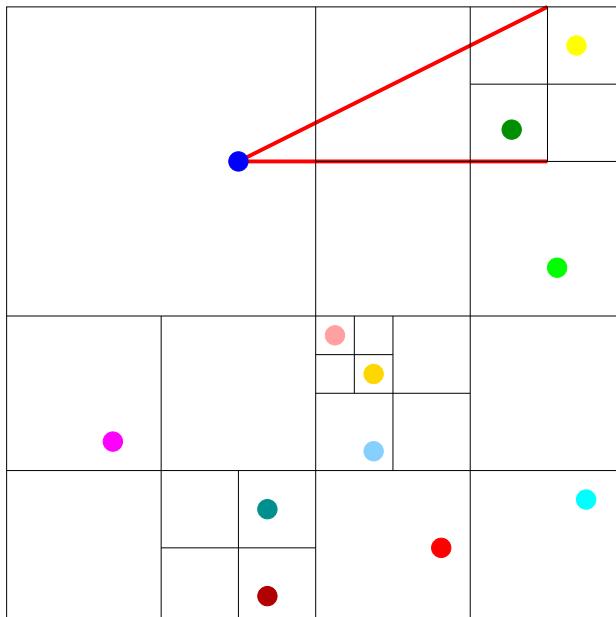
Outils numériques

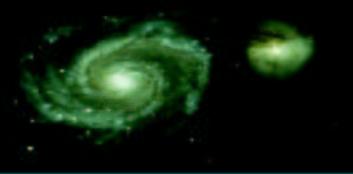
- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion





Principe du Treecode (2)

Problème étudié

Modélisation

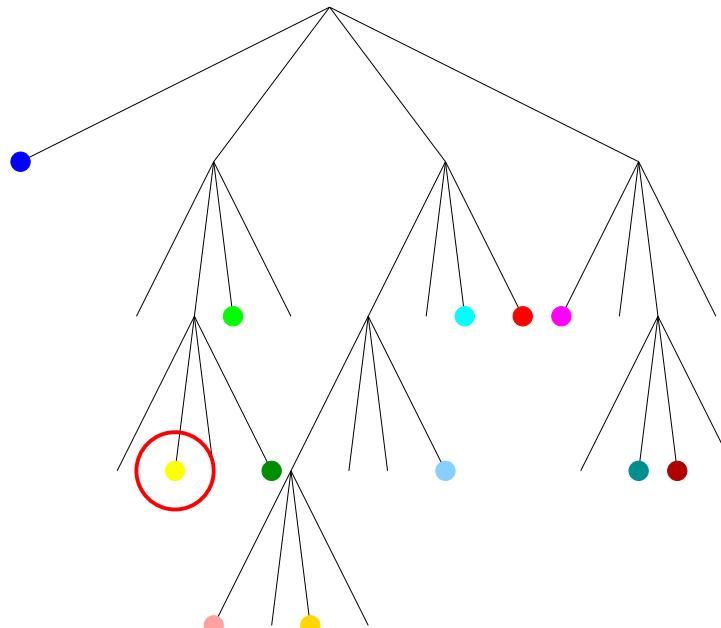
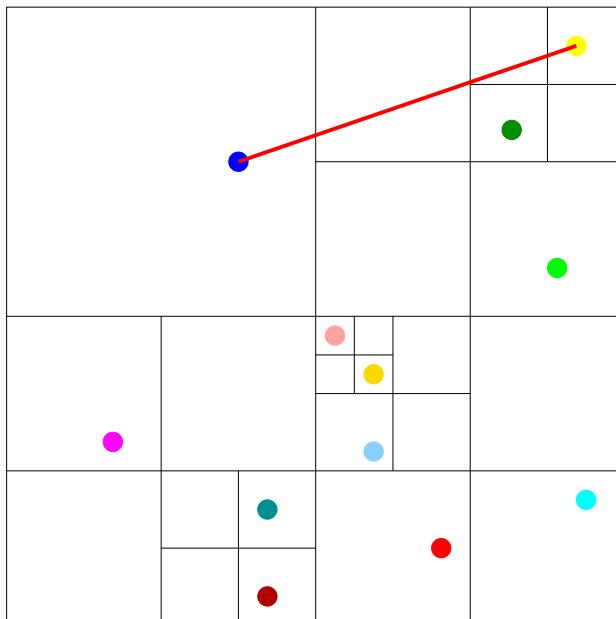
Outils numériques

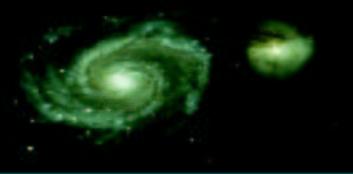
- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion





Principe du Treecode (2)

Problème étudié

Modélisation

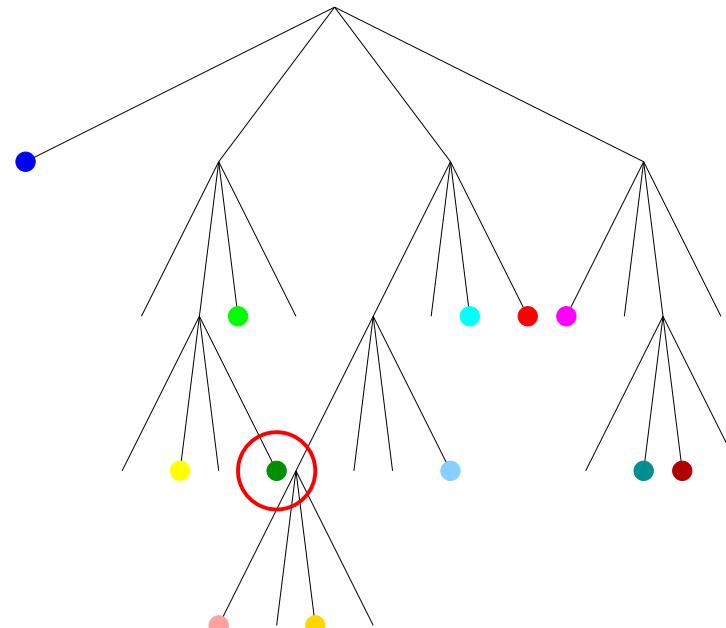
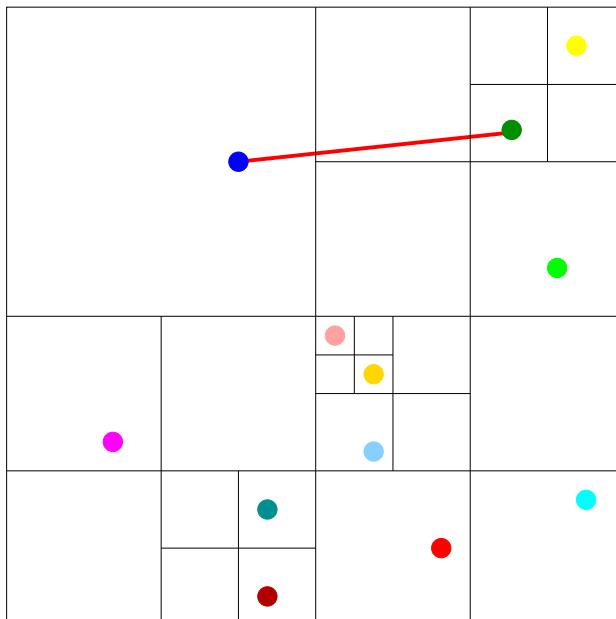
Outils numériques

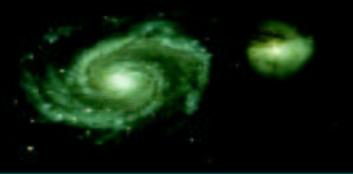
- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion





Principe du Treecode (2)

Problème étudié

Modélisation

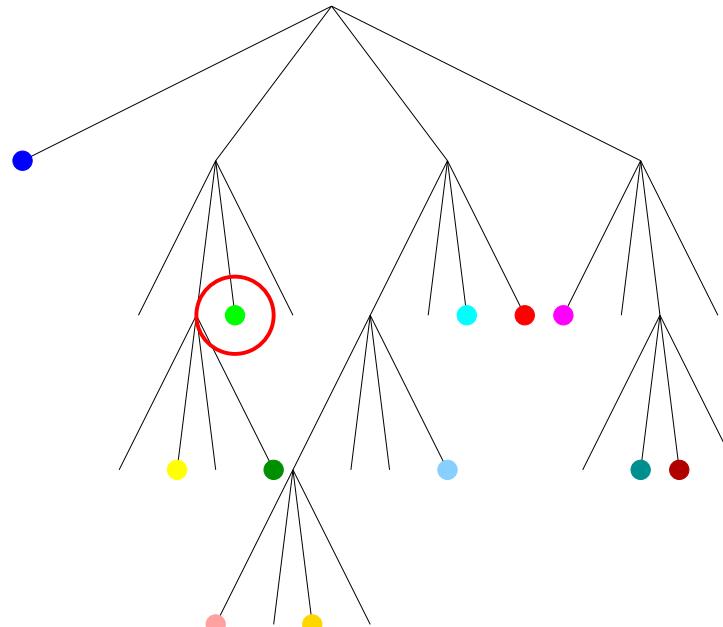
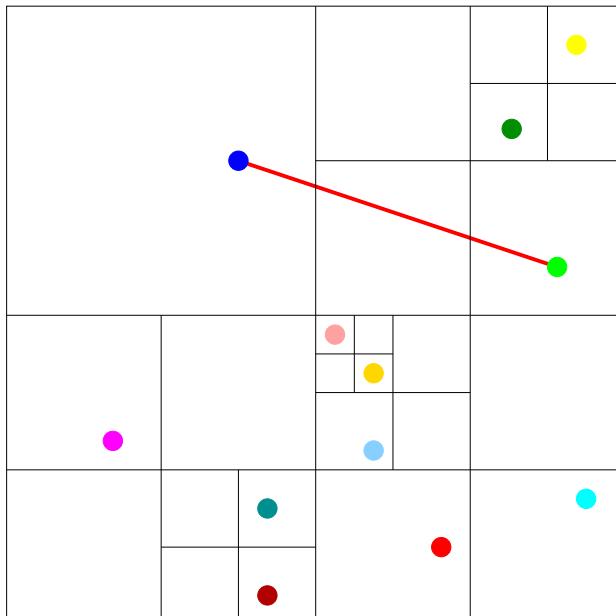
Outils numériques

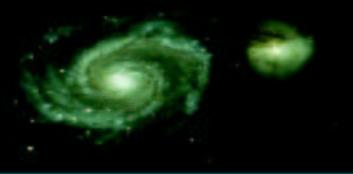
- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion





Principe du Treecode (2)

Problème étudié

Modélisation

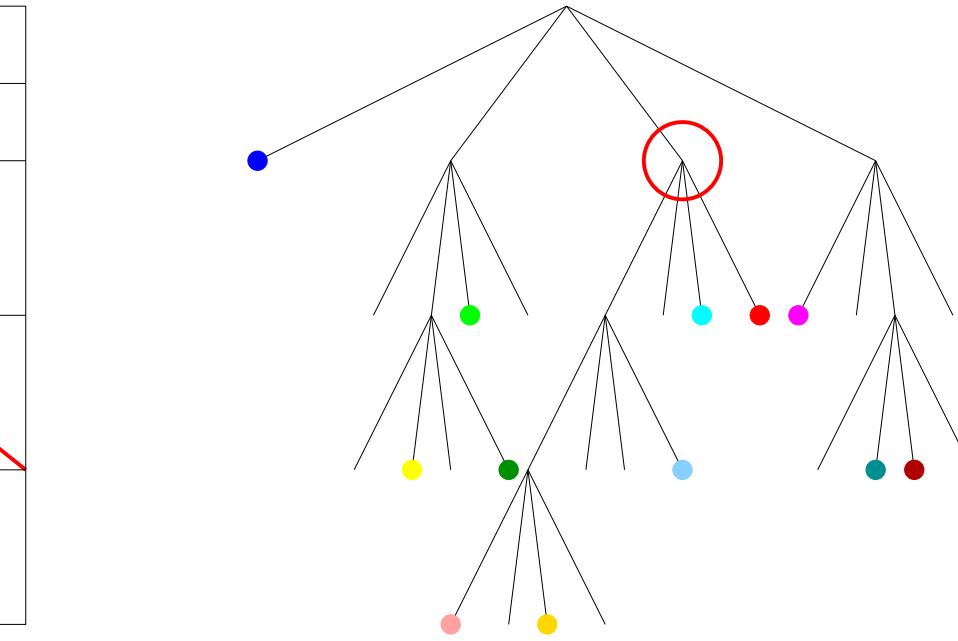
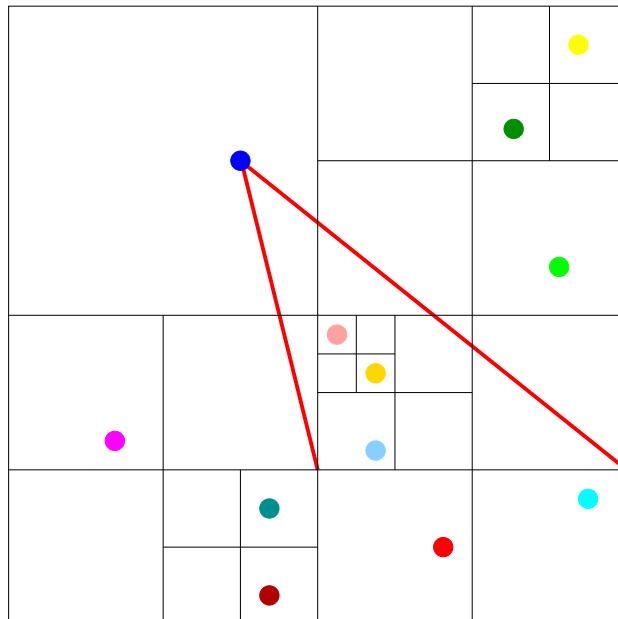
Outils numériques

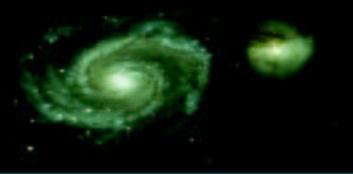
- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion





Principe du Treecode (2)

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode

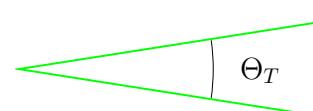
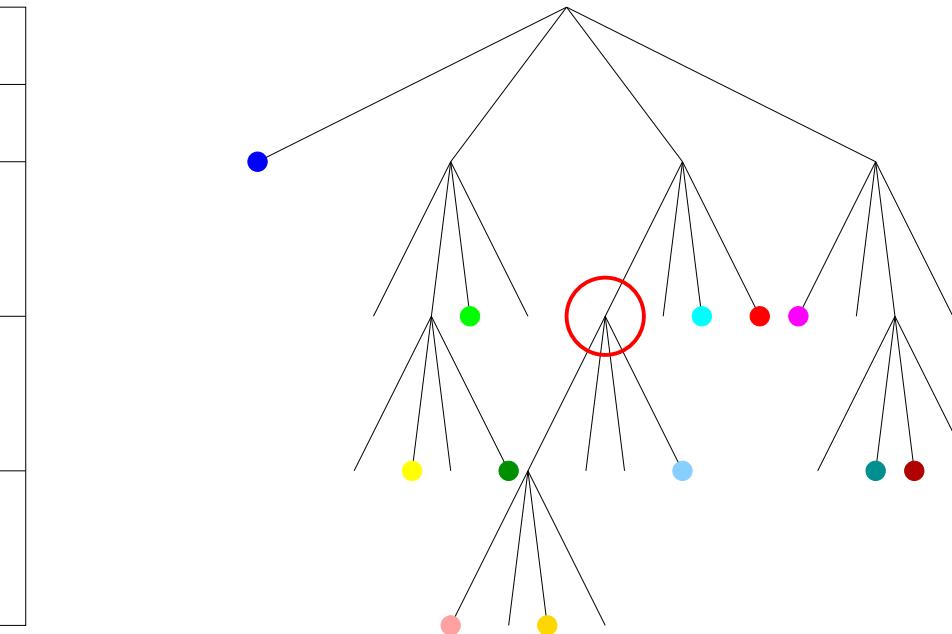
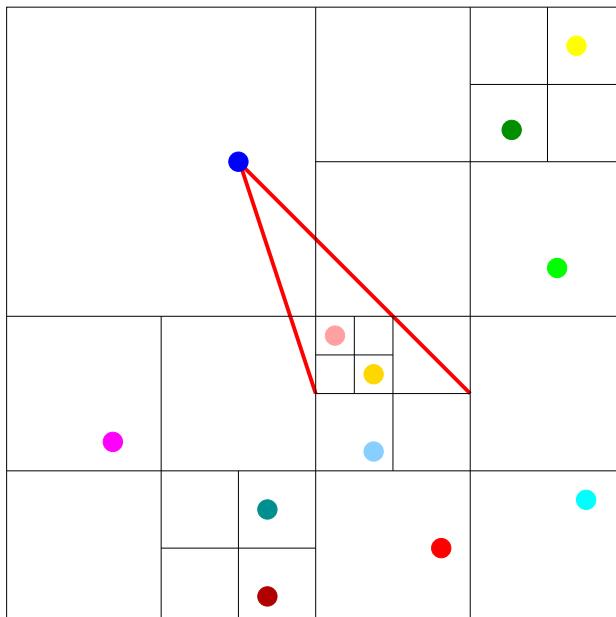
● Principe du Treecode (2)

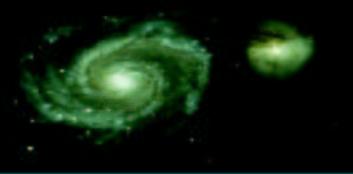
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion





Principe du Treecode (2)

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode

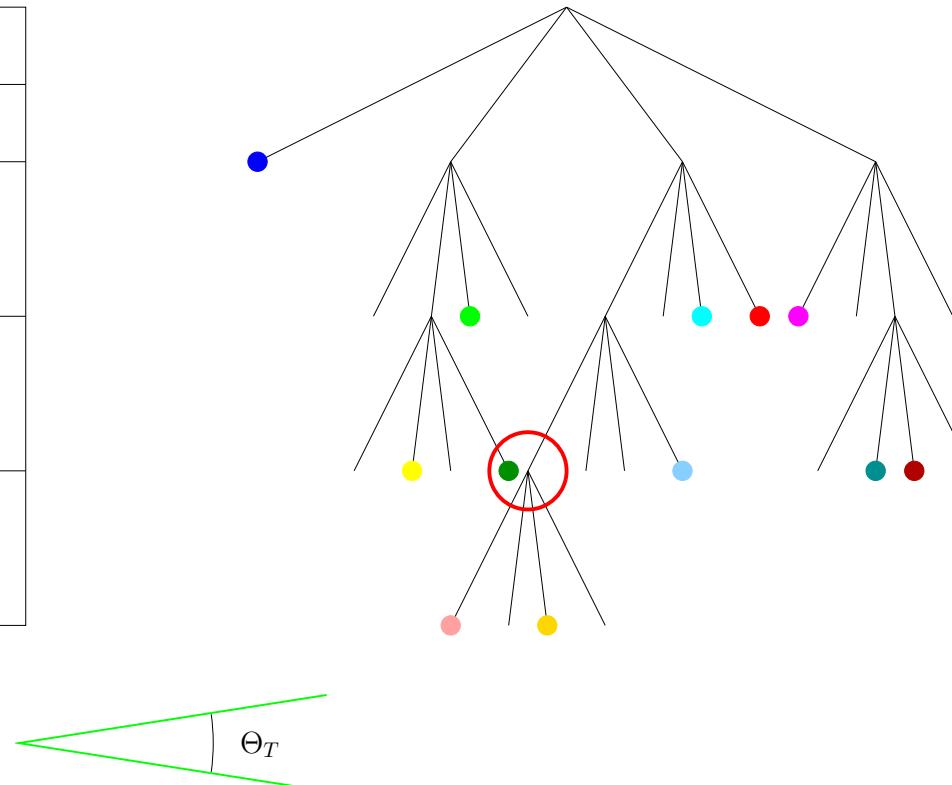
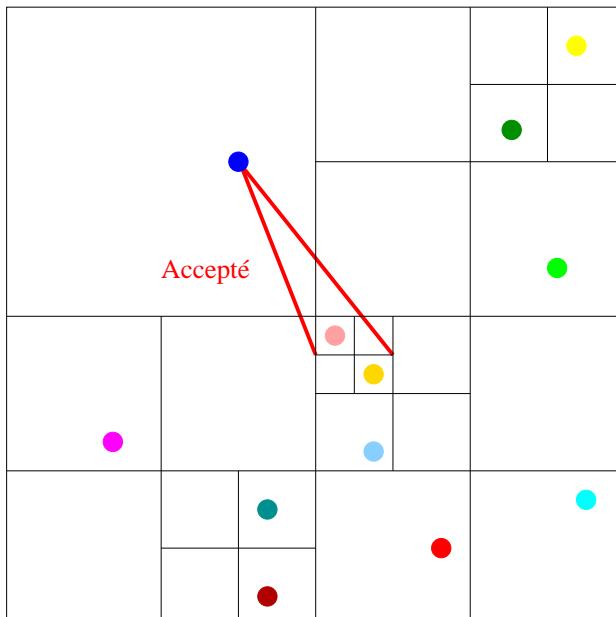
● Principe du Treecode (2)

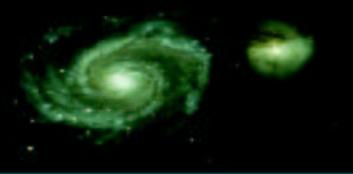
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion





Principe du Treecode (2)

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

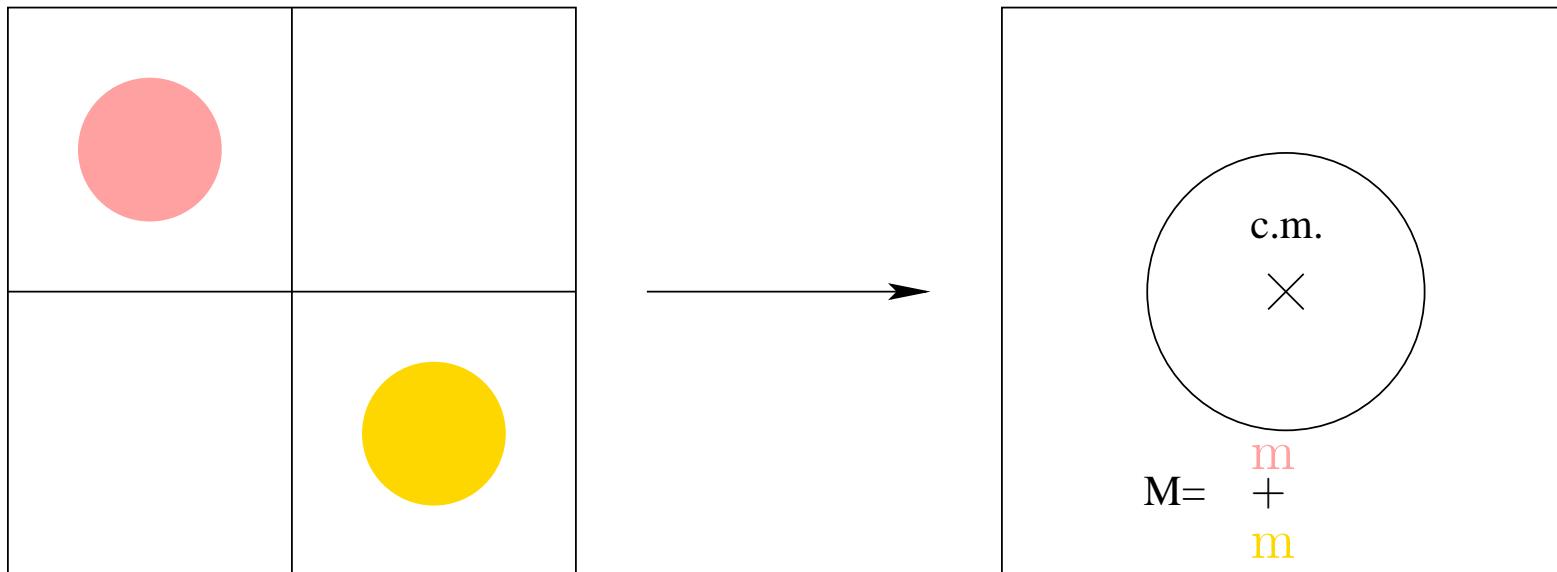
- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode

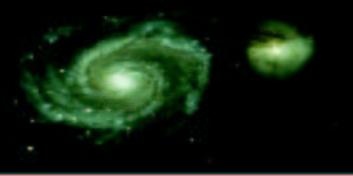
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion





Principe du Treecode (2)

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode

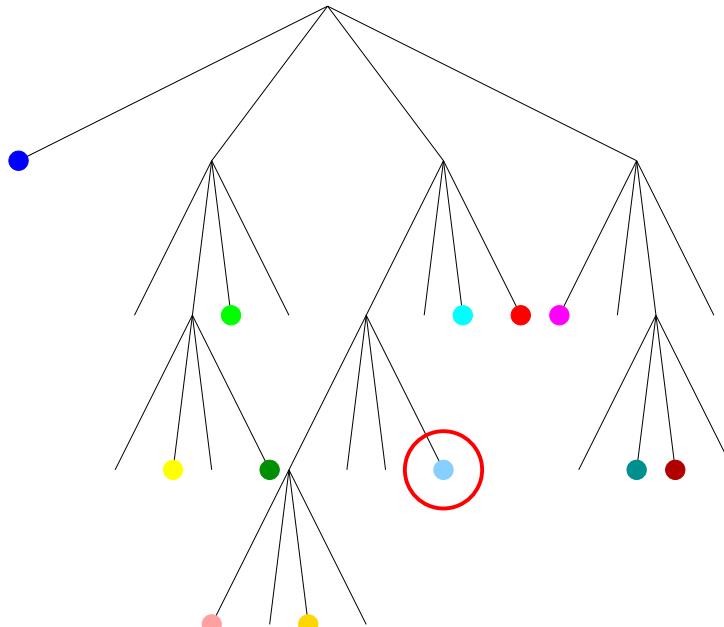
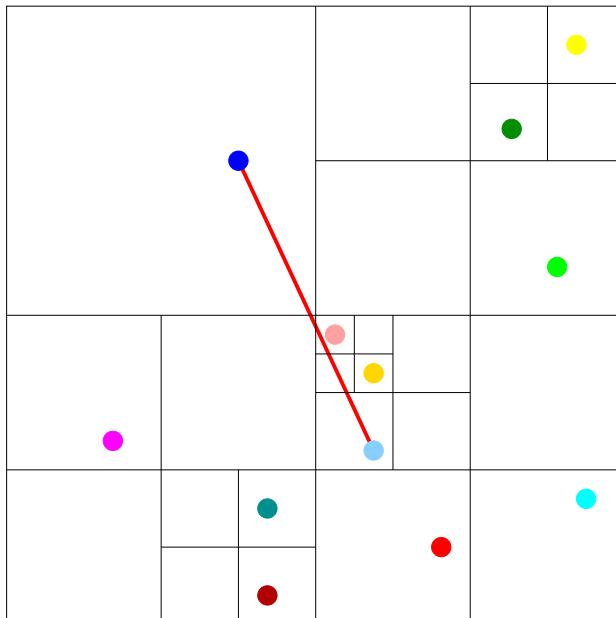
● Principe du Treecode (2)

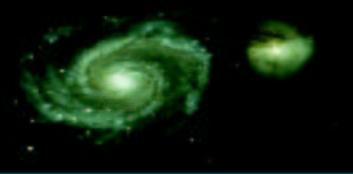
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion





Principe du Treecode (2)

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode

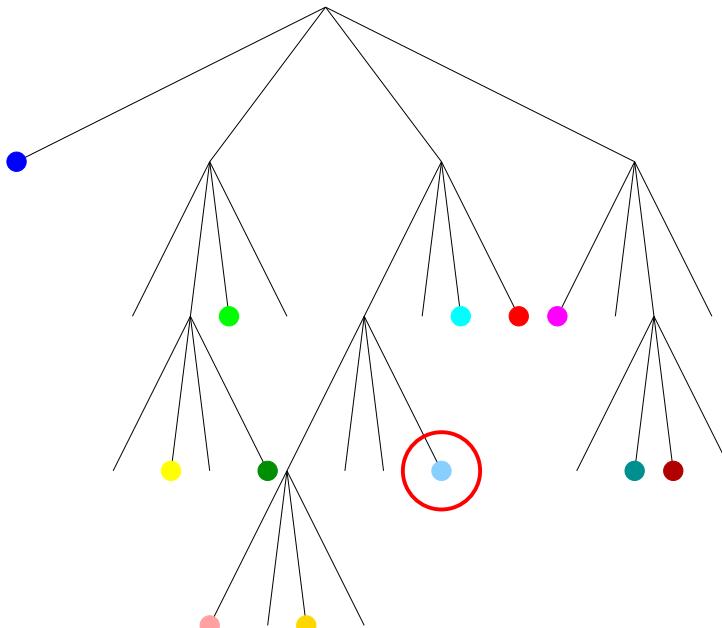
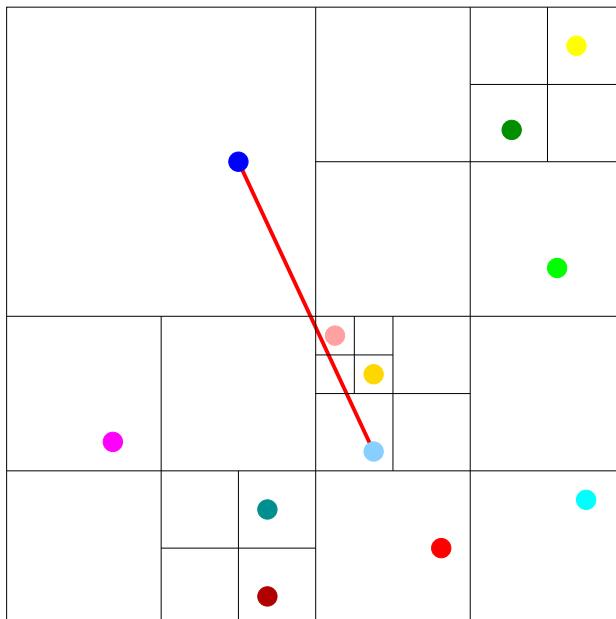
● Principe du Treecode (2)

- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

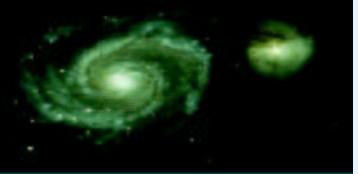
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion



Complexité : $\mathcal{O}(N \log N)$



Moments quadrupolaires (1)

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

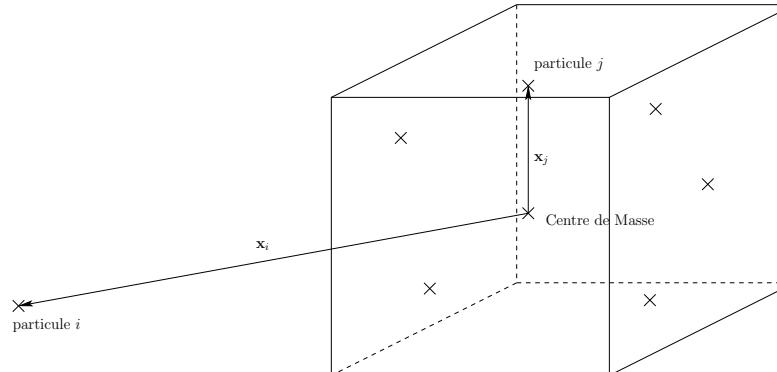
- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode

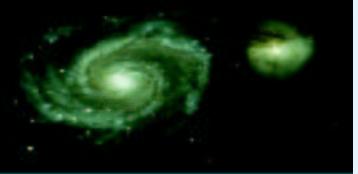
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion





Moments quadrupolaires (1)

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode

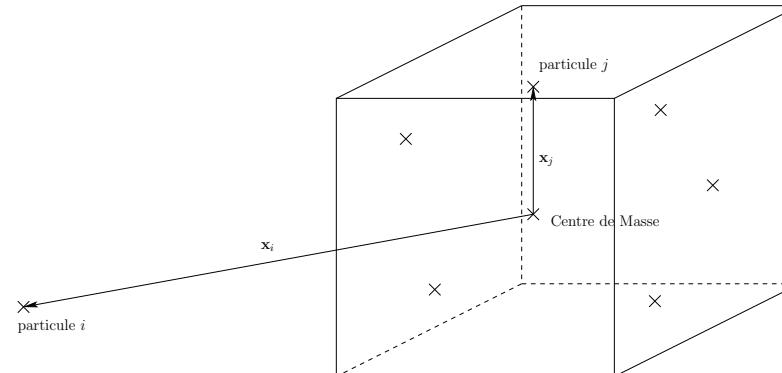
● Principe du Treecode (2)

- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

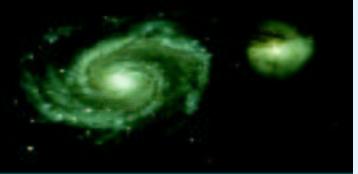
Résultats

Conclusion



Première approximation : potentiel exercé par une particule cm de masse m_{cm} située en \mathbf{r}_{cm} , avec

$$m_{cm} = \sum_{j=1}^n m_j \quad \text{et} \quad \mathbf{r}_{cm} = \frac{1}{m_{cm}} \sum_{j=1}^n m_j \mathbf{r}_j$$



Moments quadrupolaires (2)

Valeur exacte du potentiel :

$$\psi(\mathbf{x}_i) = -G \sum_{j=1}^n \frac{m_j}{|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j|}$$

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode

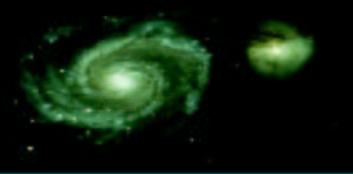
● Principe du Treecode (2)

- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion



Moments quadrupolaires (2)

Valeur exacte du potentiel :

$$\psi(\mathbf{x}_i) = -G \sum_{j=1}^n \frac{m_j}{|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j|}$$

Développement de $1/|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j|$ en polynômes de Legendre

$$\frac{1}{|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j|} = \frac{1}{x_i} \left[P_0(u) + \frac{x_j}{x_i} P_1(u) + \left(\frac{x_j}{x_i} \right)^2 P_2(u) + \dots \right]$$

avec

$$u = \frac{\mathbf{x}_i \cdot \mathbf{x}_j}{x_i x_j}$$

Problème étudié

Modélisation

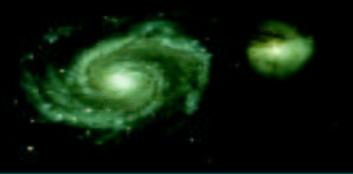
Outils numériques

- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion



Moments quadrupolaires (3)

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode

● Principe du Treecode (2)

- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

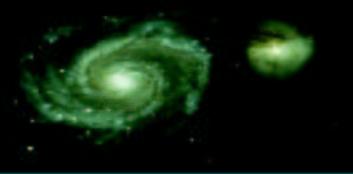
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

Trois premiers termes du développement :

$$\psi(\mathbf{x}_i) = -\frac{G}{x_i} \sum_{j=1}^n m_j \left(P_0(u) + \frac{x_j}{x_i} P_1(u) + \left(\frac{x_j}{x_i} \right)^2 P_2(u) \right)$$



Moments quadrupolaires (3)

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode

● Principe du Treecode (2)

- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

Trois premiers termes du développement :

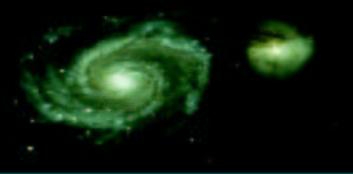
$$\psi(\mathbf{x}_i) = -\frac{G}{x_i} \sum_{j=1}^n m_j \left(P_0(u) + \frac{x_j}{x_i} P_1(u) + \left(\frac{x_j}{x_i} \right)^2 P_2(u) \right)$$

Trois premiers polynômes de Legendre

$$P_0(u) = 1 ,$$

$$P_1(u) = u ,$$

$$P_2(u) = \frac{3}{2} \left(u^2 - \frac{1}{3} \right) .$$



Moments quadrupolaires (3)

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)**
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

Trois premiers termes du développement :

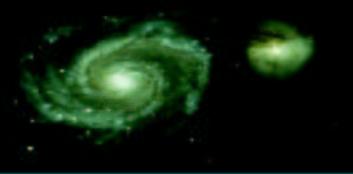
$$\psi(\mathbf{x}_i) = -\frac{G}{x_i} \sum_{j=1}^n m_j \left(P_0(u) + \frac{x_j}{x_i} P_1(u) + \left(\frac{x_j}{x_i} \right)^2 P_2(u) \right)$$

Trois premiers polynômes de Legendre

$$\begin{aligned} P_0(u) &= 1, \\ P_1(u) &= u, \\ P_2(u) &= \frac{3}{2} \left(u^2 - \frac{1}{3} \right). \end{aligned}$$

Potentiel :

$$\psi(\mathbf{x}_i) = -\frac{G}{x_i} \sum_{j=1}^n m_j - \frac{G}{x_i^3} \mathbf{x}_i \cdot \sum_{j=1}^n m_j \mathbf{x}_j - \frac{G}{x_i^5} \sum_{j=1}^n m_j \left[\frac{3}{2} (\mathbf{x}_i \cdot \mathbf{x}_j)^2 - \frac{1}{2} x_i^2 x_j^2 \right]$$



Moments quadrupolaires (3)

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

Trois premiers termes du développement :

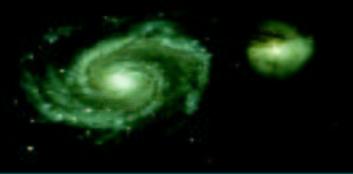
$$\psi(\mathbf{x}_i) = -\frac{G}{x_i} \sum_{j=1}^n m_j \left(P_0(u) + \frac{x_j}{x_i} P_1(u) + \left(\frac{x_j}{x_i} \right)^2 P_2(u) \right)$$

Trois premiers polynômes de Legendre

$$\begin{aligned} P_0(u) &= 1, \\ P_1(u) &= u, \\ P_2(u) &= \frac{3}{2} \left(u^2 - \frac{1}{3} \right). \end{aligned}$$

Potentiel :

$$\psi(\mathbf{x}_i) = -\frac{G}{x_i} \sum_{j=1}^n m_j - \frac{G}{x_i^5} \sum_{j=1}^n m_j \left[\frac{3}{2} (\mathbf{x}_i \cdot \mathbf{x}_j)^2 - \frac{1}{2} x_i^2 x_j^2 \right]$$



Parallélisme : généralités

Codes particulaires : parallélisme grossier évident

Problème étudié

Modélisation

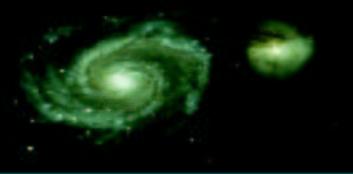
Outils numériques

- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2) (selected)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion



Parallélisme : généralités

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2) (selected)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

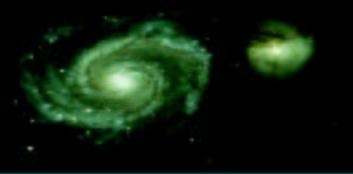
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

Codes particulaires : parallélisme grossier évident

Un processus gère N/p particules, où p est le nombre de processus.



Parallélisme : généralités

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)**
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

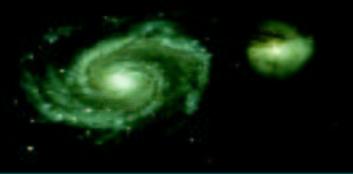
Résultats

Conclusion

Codes particulaires : parallélisme grossier évident

Un processus gère N/p particules, où p est le nombre de processus.

PP : on coupe la boucle de calcul du potentiel



Parallélisme : généralités

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)**
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

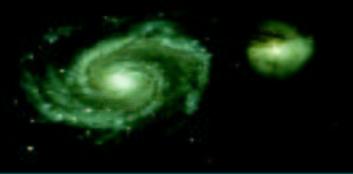
Conclusion

Codes particulaires : parallélisme grossier évident

Un processus gère N/p particules, où p est le nombre de processus.

PP : on coupe la boucle de calcul du potentiel

PM : on coupe la boucle de calcul de M (il est aussi possible de paralléliser la FFT)



Parallélisme : généralités

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

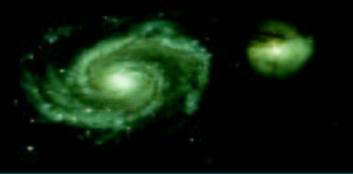
Codes particulaires : parallélisme grossier évident

Un processus gère N/p particules, où p est le nombre de processus.

PP : on coupe la boucle de calcul du potentiel

PM : on coupe la boucle de calcul de M (il est aussi possible de paralléliser la FFT)

TREECODE : on coupe la boucle de calcul du potentiel, on peut aussi paralléliser la construction de l'arbre



Parallélisme du Treecode de l'Uma

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

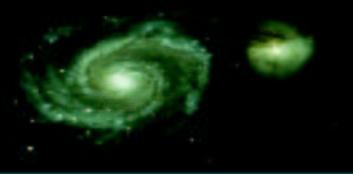
- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)**
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

Utilisation d'une ferme de Pc Linux = machine à mémoire distribuée



Parallélisme du Treecode de l'Uma

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

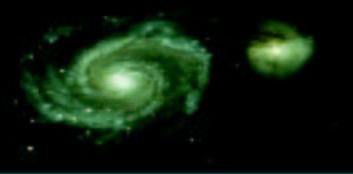
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

Utilisation d'une ferme de Pc Linux = machine à mémoire distribuée

Communications entre processeurs réalisées à l'aide de MPI



Parallélisme du Treecode de l'Uma

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

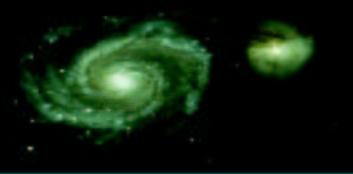
Résultats

Conclusion

Utilisation d'une ferme de Pc Linux = machine à mémoire distribuée

Communications entre processeurs réalisées à l'aide de MPI

Parallélisme du Treecode : chacun des p processeurs calcule le potentiel subi par N/p particules



Parallélisme du Treecode de l'Uma

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

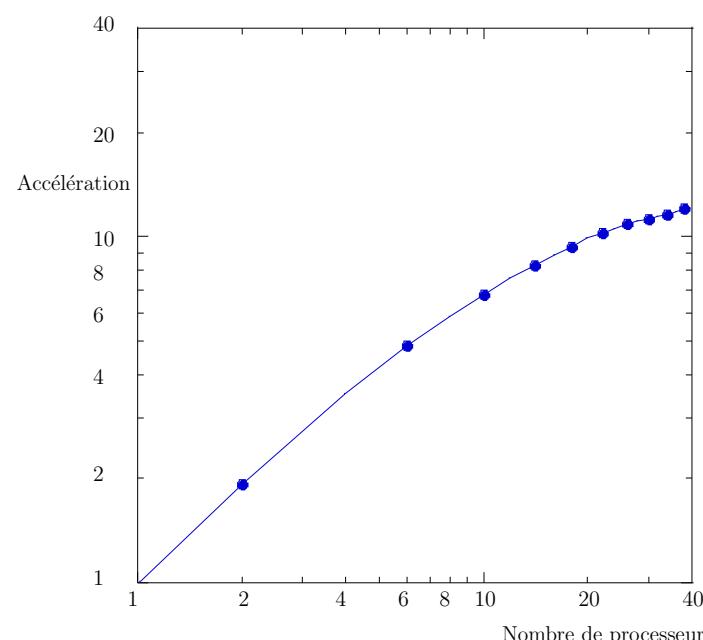
Résultats

Conclusion

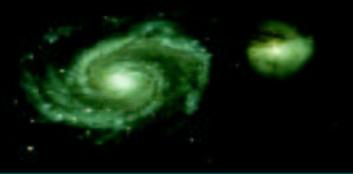
Utilisation d'une ferme de Pc Linux = machine à mémoire distribuée

Communications entre processeurs réalisées à l'aide de MPI

Parallélisme du Treecode : chacun des p processeurs calcule le potentiel subi par N/p particules



$$N = 5 K$$



Parallélisme du Treecode de l'Uma

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

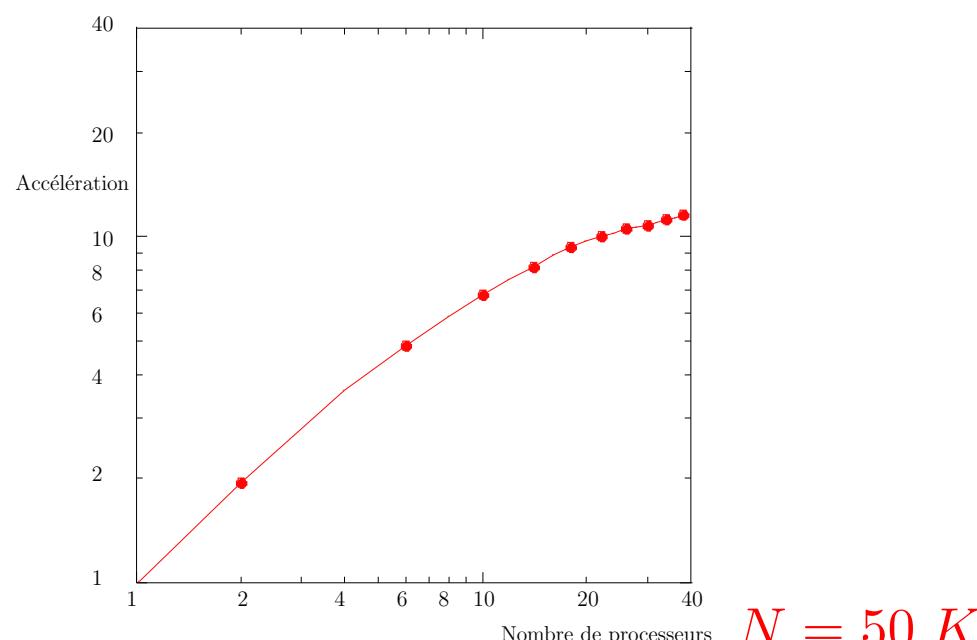
Résultats

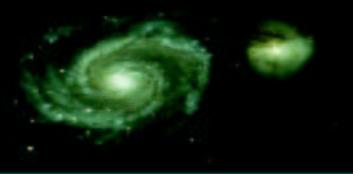
Conclusion

Utilisation d'une ferme de Pc Linux = machine à mémoire distribuée

Communications entre processeurs réalisées à l'aide de MPI

Parallélisme du Treecode : chacun des p processeurs calcule le potentiel subi par N/p particules





Parallélisme du Treecode de l'Uma

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

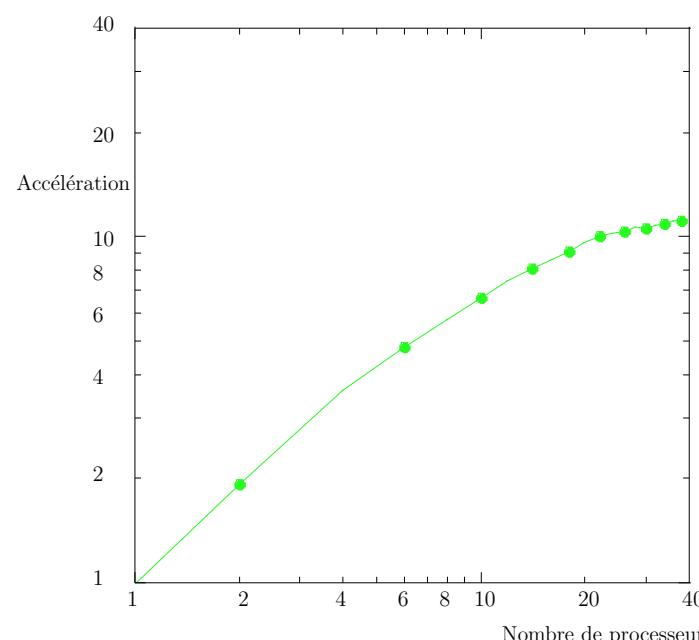
Résultats

Conclusion

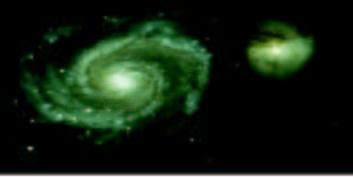
Utilisation d'une ferme de Pc Linux = machine à mémoire distribuée

Communications entre processeurs réalisées à l'aide de MPI

Parallélisme du Treecode : chacun des p processeurs calcule le potentiel subi par N/p particules



$$N = 200 \text{ } K$$



Parallélisme du Treecode de l'Uma

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode
- Schéma temporel (1)

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

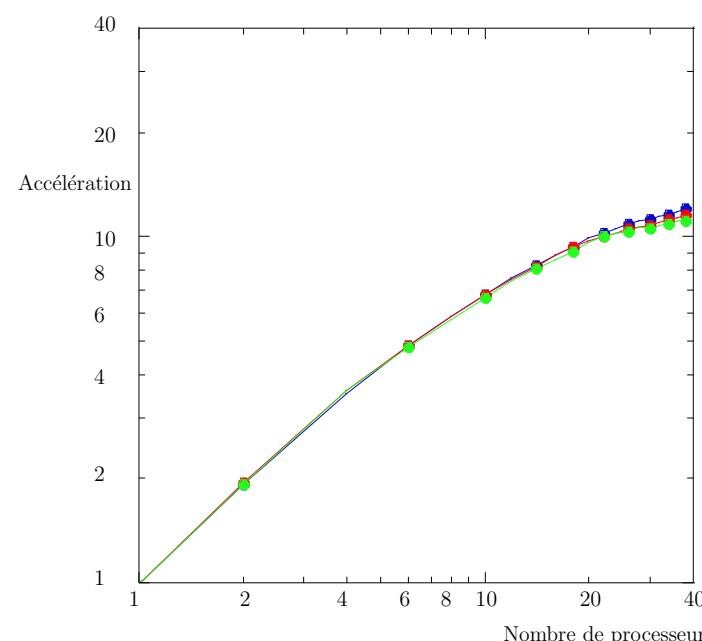
Résultats

Conclusion

Utilisation d'une ferme de Pc Linux = machine à mémoire distribuée

Communications entre processeurs réalisées à l'aide de MPI

Parallélisme du Treecode : chacun des p processeurs calcule le potentiel subi par N/p particules



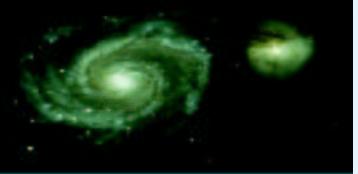


Schéma temporel (1)

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode**
- Schéma temporel (1)

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

Schéma classique : saute-mouton (leap-frog)

$$\frac{\mathbf{r}_{new} - \mathbf{r}_{old}}{\Delta t} = \mathbf{v}_{new}, \quad (1)$$

$$\frac{\mathbf{v}_{new} - \mathbf{v}_{old}}{\Delta t} = \mathbf{f}(\mathbf{r}_{old}), \quad (2)$$

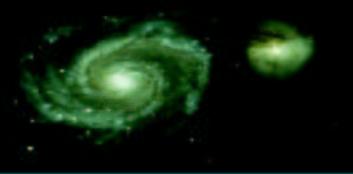


Schéma temporel (1)

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode**
- Schéma temporel (1)

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

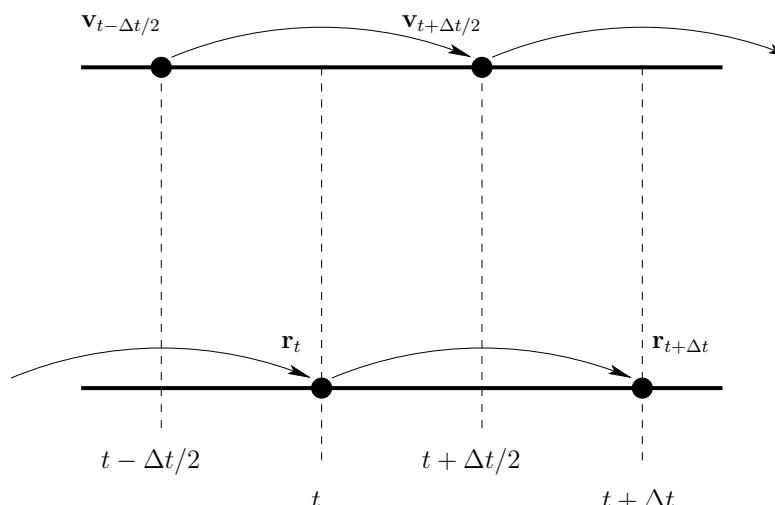
Résultats

Conclusion

Schéma classique : saute-mouton (leap-frog)

$$\frac{\mathbf{r}_{new} - \mathbf{r}_{old}}{\Delta t} = \mathbf{v}_{new}, \quad (1)$$

$$\frac{\mathbf{v}_{new} - \mathbf{v}_{old}}{\Delta t} = \mathbf{f}(\mathbf{r}_{old}), \quad (2)$$



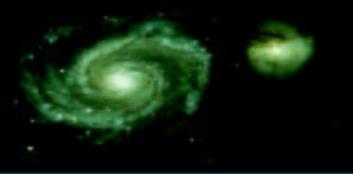


Schéma temporel (1)

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

- Codes particulaires
- En pratique...
- Code Particule-Particule
- Potentiel adouci (1)
- Potentiel adouci (2)
- Code Particule-Grille (1)
- Code Particule-Grille (2)
- Code Particule-Grille (3)
- Code Particule-Grille (4)
- Codes en arbre : Treecode
- Principe du Treecode (2)
- Moments quadrupolaires (1)
- Moments quadrupolaires (2)
- Moments quadrupolaires (3)
- Parallélisme : généralités
- Parallélisme du Treecode**
- Schéma temporel (1)

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

Schéma classique : saute-mouton (leap-frog)

$$\frac{\mathbf{r}_{new} - \mathbf{r}_{old}}{\Delta t} = \mathbf{v}_{new}, \quad (1)$$

$$\frac{\mathbf{v}_{new} - \mathbf{v}_{old}}{\Delta t} = \mathbf{f}(\mathbf{r}_{old}), \quad (2)$$

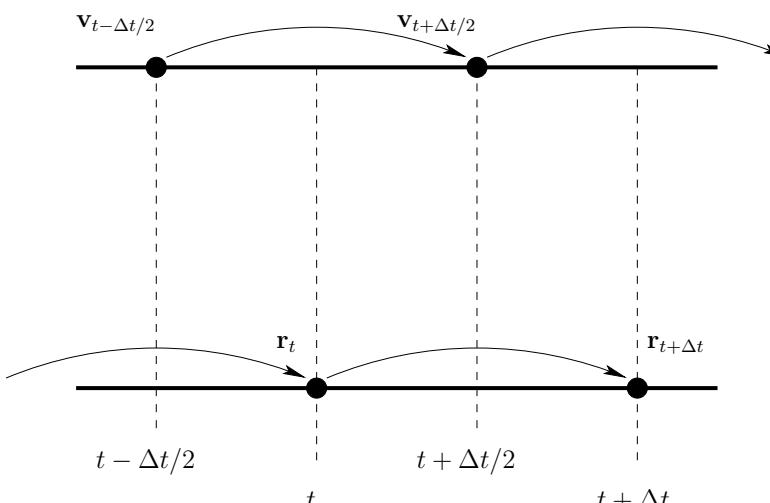
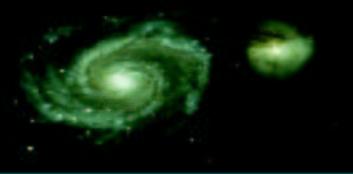


Schéma d'ordre 2, simple et rapide



Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

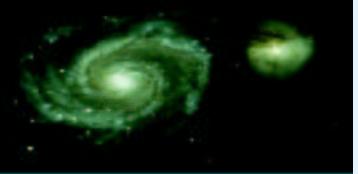
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

- Conditions initiales
- Observables calculées
- Rayon de densité

Résultats

Conclusion

Expériences d'effondrement - Roy & Perez, MNRAS, 2004



Conditions initiales

6 types de conditions initiales

■ H_η : Densité homogène

Problème étudié

Modélisation

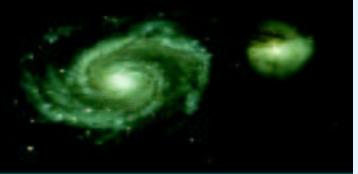
Outils numériques

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

- Conditions initiales
- Observables calculées
- Rayon de densité

Résultats

Conclusion



Conditions initiales

6 types de conditions initiales

■ H_η : Densité homogène

■ $C_\eta^{n_g}$: Densité de type grumeaux

Problème étudié

Modélisation

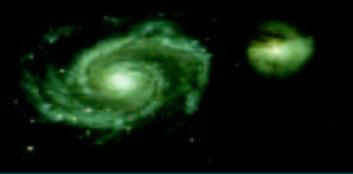
Outils numériques

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

- Conditions initiales
- Observables calculées
- Rayon de densité

Résultats

Conclusion



Conditions initiales

6 types de conditions initiales

- H_η : Densité homogène
- $C_\eta^{n_g}$: Densité de type grumeaux
- G_η^σ : Vitesses de type gaussienne de largeur à mi-hauteur σ

Problème étudié

Modélisation

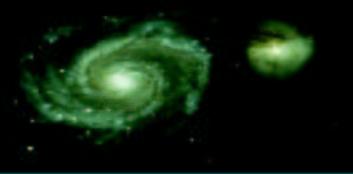
Outils numériques

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

- Conditions initiales
- Observables calculées
- Rayon de densité

Résultats

Conclusion



Conditions initiales

6 types de conditions initiales

- H_η : Densité homogène
- $C_\eta^{n_g}$: Densité de type grumeaux
- G_η^σ : Vitesses de type gaussienne de largeur à mi-hauteur σ
- M_η^k : Spectre de masse de type $k = I$ (Kroupa), II (Salpeter) ou III ($1/m$)

Problème étudié

Modélisation

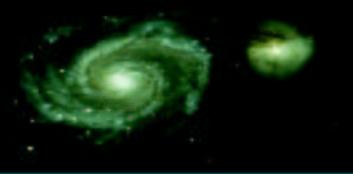
Outils numériques

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

- Conditions initiales
- Observables calculées
- Rayon de densité

Résultats

Conclusion



Conditions initiales

6 types de conditions initiales

- H_η : Densité homogène
- $C_\eta^{n_g}$: Densité de type grumeaux
- G_η^σ : Vitesses de type gaussienne de largeur à mi-hauteur σ
- M_η^k : Spectre de masse de type $k = I$ (Kroupa), II (Salpeter) ou III ($1/m$)
- $P_\eta^{\alpha_d}$: Densité selon une loi de puissance $\rho \propto r^{-\alpha_d}$

Problème étudié

Modélisation

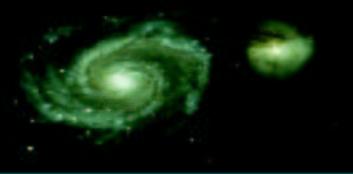
Outils numériques

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

- Conditions initiales
- Observables calculées
- Rayon de densité

Résultats

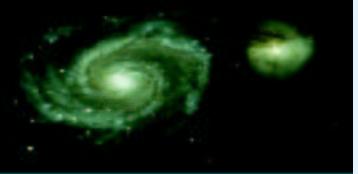
Conclusion



Conditions initiales

6 types de conditions initiales

- H_η : Densité homogène
- $C_\eta^{n_g}$: Densité de type grumeaux
- G_η^σ : Vitesses de type gaussienne de largeur à mi-hauteur σ
- M_η^k : Spectre de masse de type $k = I$ (Kroupa), II (Salpeter) ou III ($1/m$)
- $P_\eta^{\alpha_d}$: Densité selon une loi de puissance $\rho \propto r^{-\alpha_d}$
- $R_\eta^{\gamma_{rot}}$: Système en rotation avec paramètre de rotation γ_{rot}



Observables calculées

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

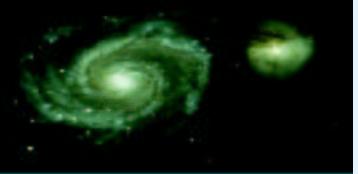
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

- Conditions initiales
- Observables calculées
- Rayon de densité

Résultats

Conclusion

■ Énergie totale



Observables calculées

- Énergie totale
- Rapport du viriel \mathcal{V}

Problème étudié

Modélisation

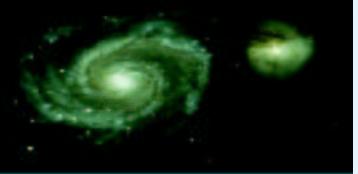
Outils numériques

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

- Conditions initiales
- Observables calculées
- Rayon de densité

Résultats

Conclusion



Observables calculées

- Énergie totale
- Rapport du viriel \mathcal{V}
- Centre de densité et rayon de densité R_d

Problème étudié

Modélisation

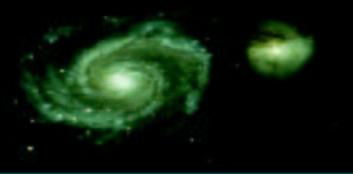
Outils numériques

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

- Conditions initiales
- Observables calculées
- Rayon de densité

Résultats

Conclusion



Observables calculées

- Énergie totale
- Rapport du viriel \mathcal{V}
- Centre de densité et rayon de densité R_d
- Rapports d'axes a_1 et a_2 (rapports des valeurs propres de la matrice d'inertie)

Problème étudié

Modélisation

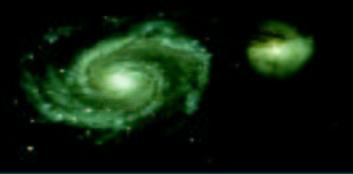
Outils numériques

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

- Conditions initiales
- Observables calculées
- Rayon de densité

Résultats

Conclusion



Observables calculées

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

Expériences d'effondrement -

Roy & Perez, MNRAS, 2004

● Conditions initiales

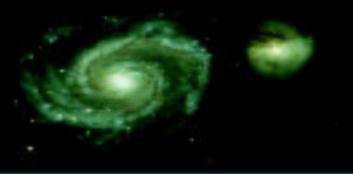
● Observables calculées

● Rayon de densité

Résultats

Conclusion

- Énergie totale
- Rapport du viriel \mathcal{V}
- Centre de densité et rayon de densité R_d
- Rapports d'axes a_1 et a_2 (rapports des valeurs propres de la matrice d'inertie)
- Rayons contenant 10, 50 et 90% de la masse R_{10} , R_{50} et R_{90}



Observables calculées

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

Expériences d'effondrement -

Roy & Perez, MNRAS, 2004

● Conditions initiales

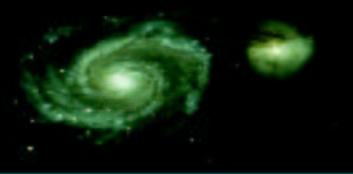
● Observables calculées

● Rayon de densité

Résultats

Conclusion

- Énergie totale
- Rapport du viriel \mathcal{V}
- Centre de densité et rayon de densité R_d
- Rapports d'axes a_1 et a_2 (rapports des valeurs propres de la matrice d'inertie)
- Rayons contenant 10, 50 et 90% de la masse R_{10} , R_{50} et R_{90}
- Potentiel ψ et densité ρ



Observables calculées

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

Expériences d'effondrement -

Roy & Perez, MNRAS, 2004

● Conditions initiales

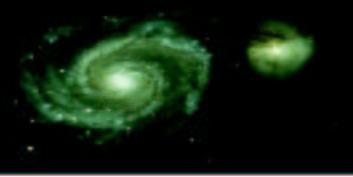
● Observables calculées

● Rayon de densité

Résultats

Conclusion

- Énergie totale
- Rapport du viriel \mathcal{V}
- Centre de densité et rayon de densité R_d
- Rapports d'axes a_1 et a_2 (rapports des valeurs propres de la matrice d'inertie)
- Rayons contenant 10, 50 et 90% de la masse R_{10} , R_{50} et R_{90}
- Potentiel ψ et densité ρ
- Température $T = 2K/3N$



Observables calculées

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

● Conditions initiales

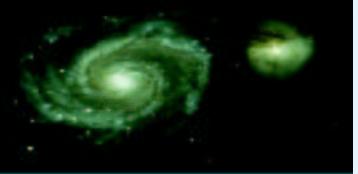
● Observables calculées

● Rayon de densité

Résultats

Conclusion

- Énergie totale
- Rapport du viriel \mathcal{V}
- Centre de densité et rayon de densité R_d
- Rapports d'axes a_1 et a_2 (rapports des valeurs propres de la matrice d'inertie)
- Rayons contenant 10, 50 et 90% de la masse R_{10} , R_{50} et R_{90}
- Potentiel ψ et densité ρ
- Température $T = 2K/3N$
- Ajustement des couples potentiel-densité par un polytrope ou une sphère isotherme.



Rayon de densité

Problème étudié

Modélisation

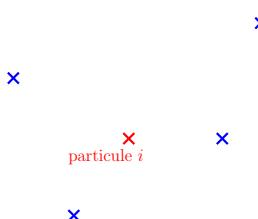
Outils numériques

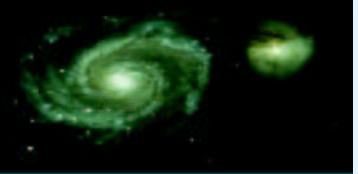
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

- Conditions initiales
- Observables calculées
- Rayon de densité

Résultats

Conclusion





Rayon de densité

Problème étudié

Modélisation

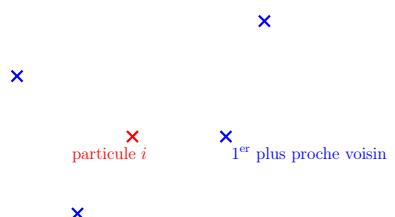
Outils numériques

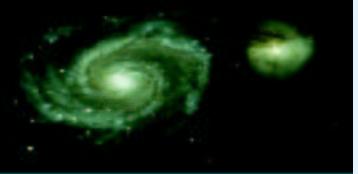
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

- Conditions initiales
- Observables calculées
- Rayon de densité

Résultats

Conclusion





Rayon de densité

Problème étudié

Modélisation

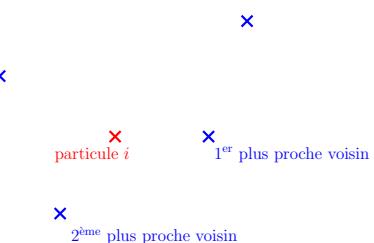
Outils numériques

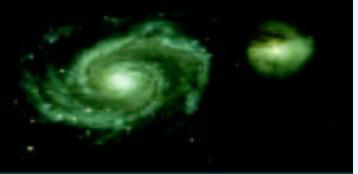
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

- Conditions initiales
- Observables calculées
- Rayon de densité

Résultats

Conclusion





Rayon de densité

Problème étudié

Modélisation

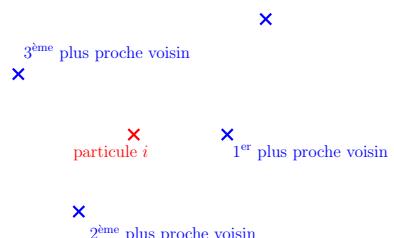
Outils numériques

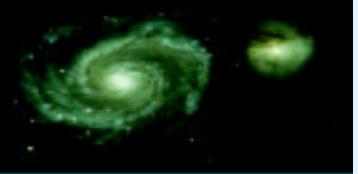
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

- Conditions initiales
- Observables calculées
- Rayon de densité

Résultats

Conclusion





Rayon de densité

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

Expériences d'effondrement -

Roy & Perez, MNRAS, 2004

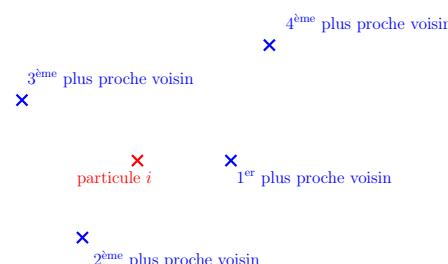
● Conditions initiales

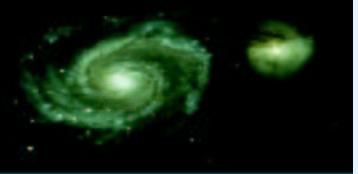
● Observables calculées

● Rayon de densité

Résultats

Conclusion





Rayon de densité

Problème étudié

Modélisation

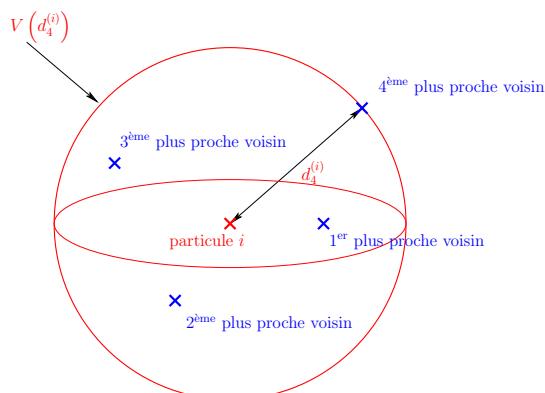
Outils numériques

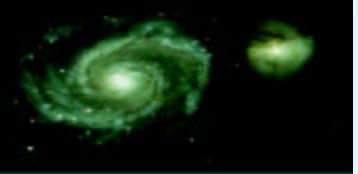
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

- Conditions initiales
- Observables calculées
- Rayon de densité

Résultats

Conclusion





Rayon de densité

Problème étudié

Modélisation

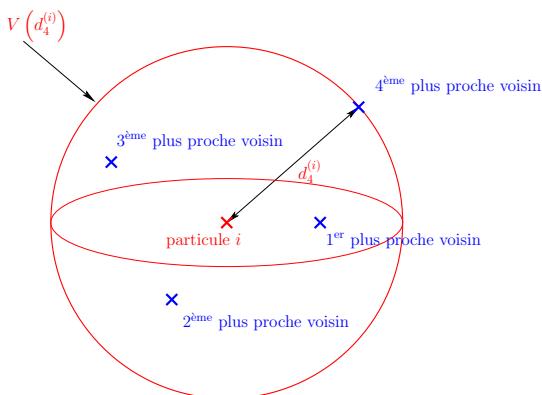
Outils numériques

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

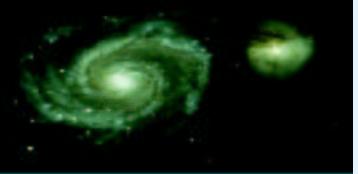
- Conditions initiales
- Observables calculées
- Rayon de densité

Résultats

Conclusion



$$\rho_j^{(i)} = \frac{j-1}{V(d_j^{(i)})} m$$



Rayon de densité

Problème étudié

Modélisation

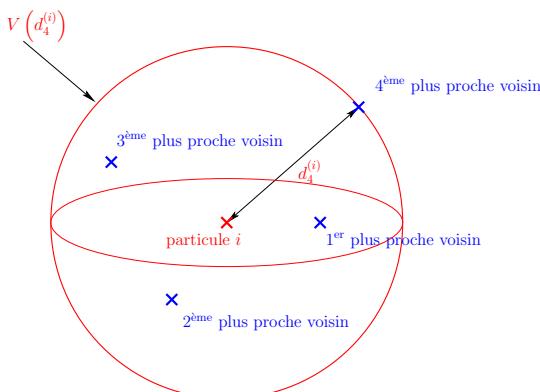
Outils numériques

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

- Conditions initiales
- Observables calculées
- Rayon de densité

Résultats

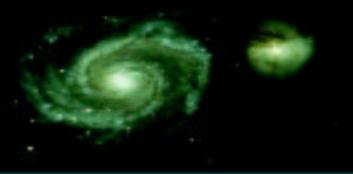
Conclusion



$$\rho_j^{(i)} = \frac{j-1}{V(d_j^{(i)})} m$$

$$\mathbf{r}_{cd} = \frac{\sum \mathbf{r}_i \rho_j^{(i)}}{\sum \rho_j^{(i)}} \quad \text{et} \quad R_{d,j} = \frac{\sum |\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_{cd}| \rho_j^{(i)}}{\sum \rho_j^{(i)}}$$

Casertano et Hut, 1985.



Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

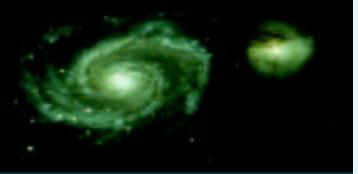
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

- Effondrement
- Etude préliminaire
- Etude préliminaire (II)
- Géométrie du système final (I)
- Géométrie du système final (II)
- Ajustement par un polytrope
- Ajustement sphère isotherme
- Exemple d'ajustement
- Densités finales
- Ségrégation de taille
- Énergie température
- Énergie température

Conclusion

Résultats



Effondrement

Problème étudié

Modélisation

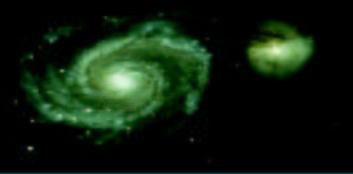
Outils numériques

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

- Effondrement
- Etude préliminaire
- Etude préliminaire (II)
- Géométrie du système final (I)
- Géométrie du système final (II)
- Ajustement par un polytrope
- Ajustement sphère isotherme
- Exemple d'ajustement
- Densités finales
- Ségrégation de taille
- Énergie température
- Énergie température

Conclusion



Effondrement

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

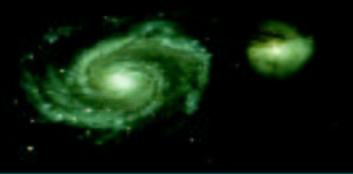
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

- Effondrement
- Etude préliminaire
- Etude préliminaire (II)
- Géométrie du système final (I)
- Géométrie du système final (II)
- Ajustement par un polytrope
- Ajustement sphère isotherme
- Exemple d'ajustement
- Densités finales
- Ségrégation de taille
- Énergie température
- Énergie température

Conclusion

Tous les effondrements conduisent à la formation d'un état d'équilibre.



Effondrement

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

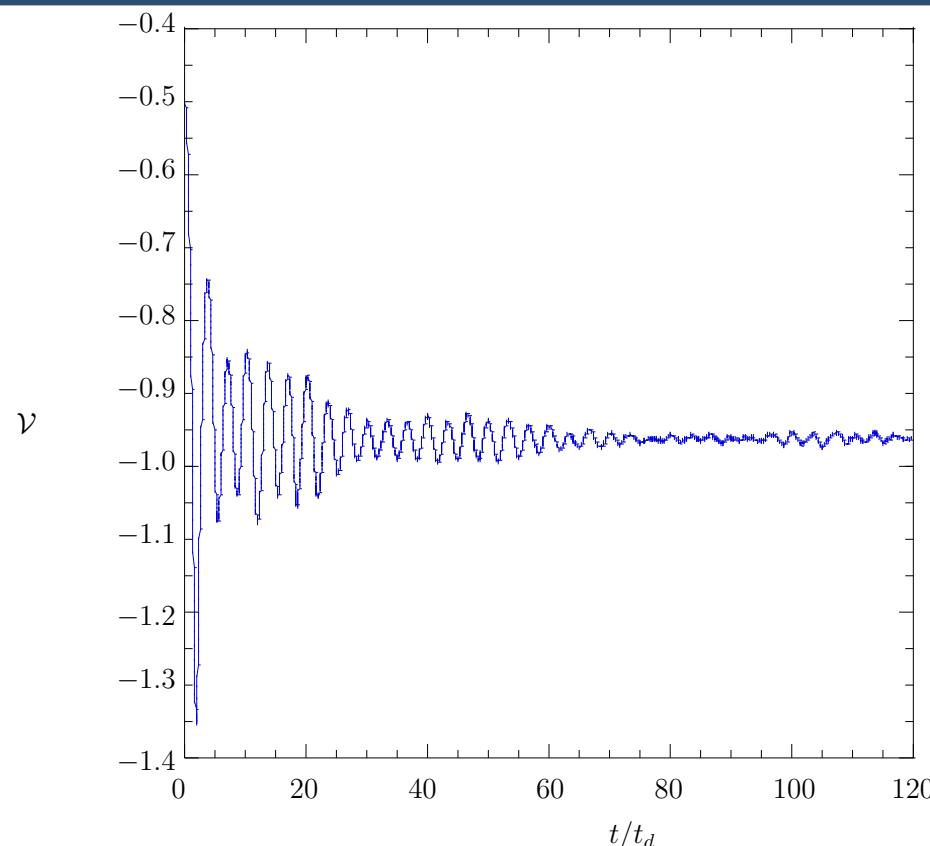
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

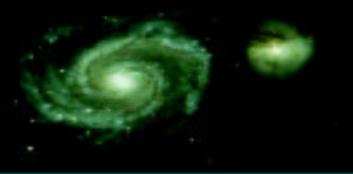
Résultats

- Effondrement
- Etude préliminaire
- Etude préliminaire (II)
- Géométrie du système final (I)
- Géométrie du système final (II)
- Ajustement par un polytrope
- Ajustement sphère isotherme
- Exemple d'ajustement
- Densités finales
- Ségrégation de taille
- Énergie température
- Énergie température

Conclusion

Tous les effondrements conduisent à la formation d'un état d'équilibre.





Etude préliminaire

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

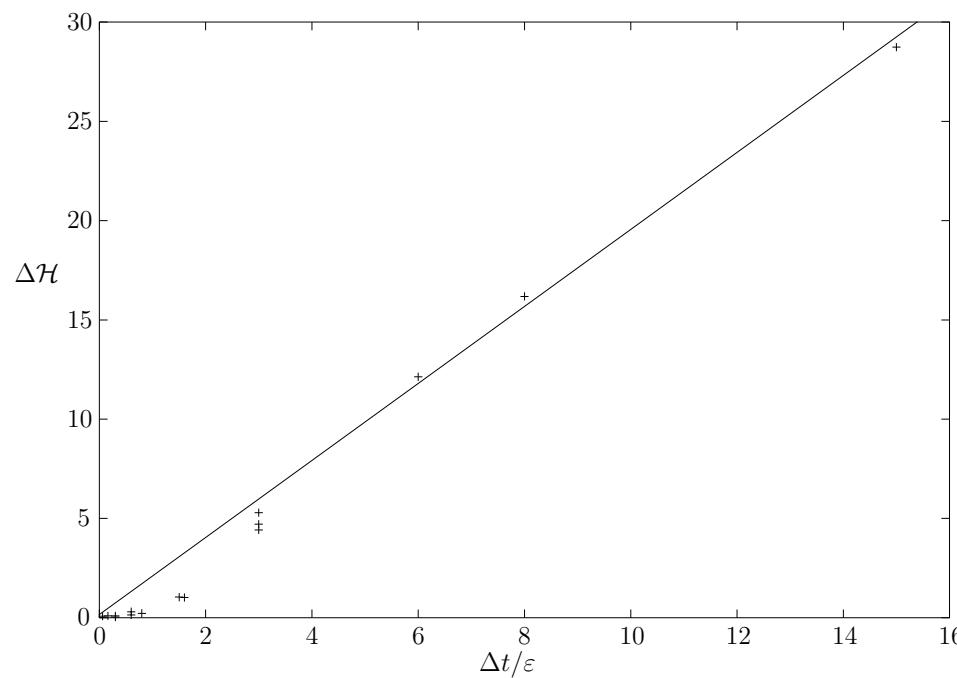
Résultats

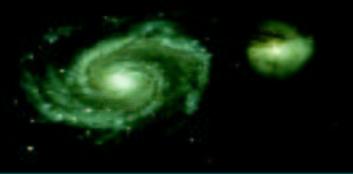
- Effondrement
- Etude préliminaire
- Etude préliminaire (II)
- Géométrie du système final (I)
- Géométrie du système final (II)
- Ajustement par un polytrope
- Ajustement sphère isotherme
- Exemple d'ajustement
- Densités finales
- Ségrégation de taille
- Énergie température
- Énergie température

Conclusion

Potentiel approché

$$\psi(\mathbf{r}) = \begin{cases} -\frac{Gm_i}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}_i|} & \text{si } |\mathbf{r} - \mathbf{r}_i| > \varepsilon \\ -\frac{Gm_i}{\varepsilon} & \text{si } |\mathbf{r} - \mathbf{r}_i| \leq \varepsilon \end{cases}$$





Etude préliminaire (II)

Problème étudié

Modélisation

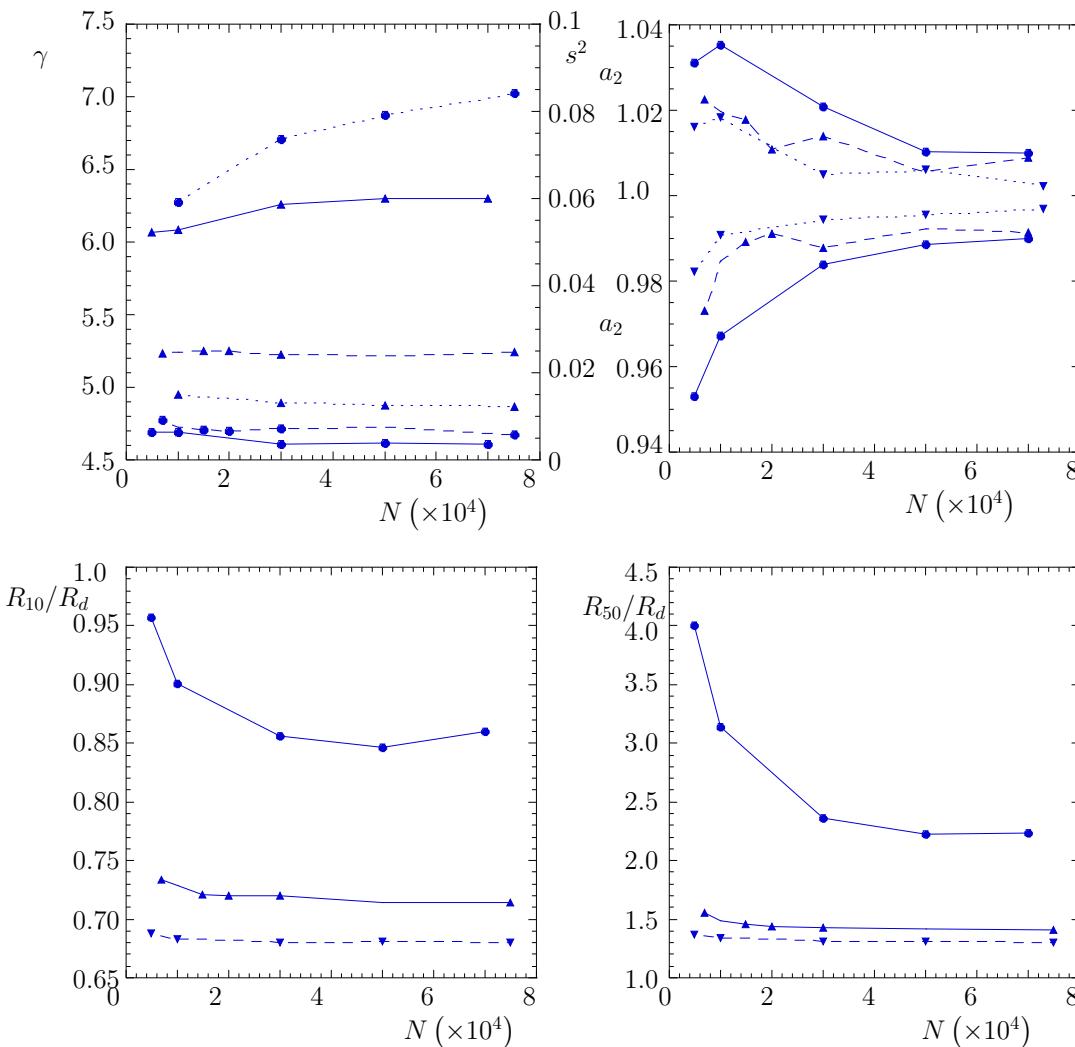
Outils numériques

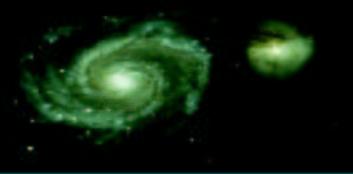
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

- Effondrement
- Etude préliminaire
- Etude préliminaire (II)
- Géométrie du système final (I)
- Géométrie du système final (II)
- Ajustement par un polytrope
- Ajustement sphère isotherme
- Exemple d'ajustement
- Densités finales
- Ségrégation de taille
- Énergie température
- Énergie température

Conclusion





Géométrie du système final (I)

Problème étudié

Modélisation

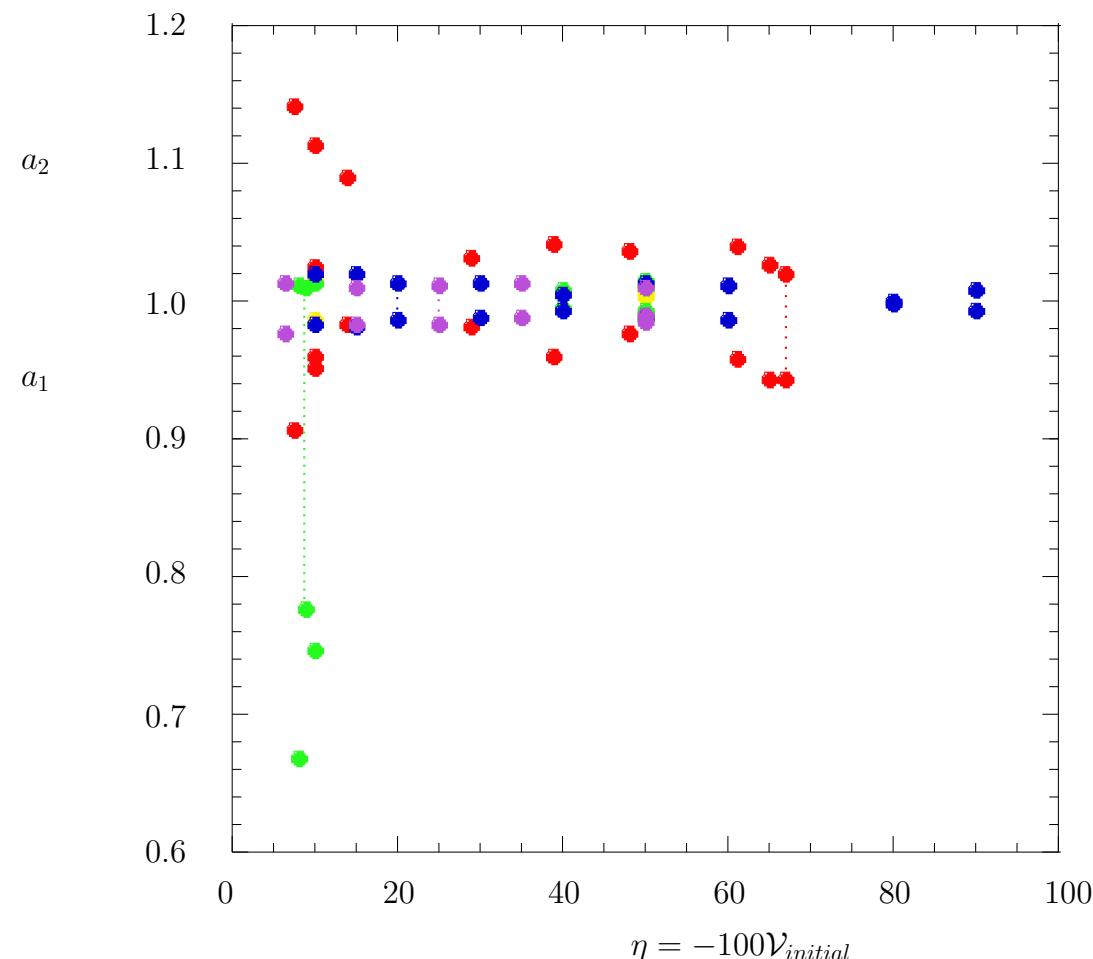
Outils numériques

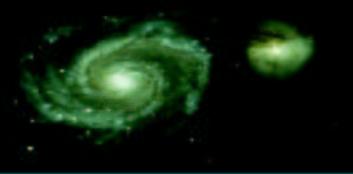
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

- Effondrement
- Etude préliminaire
- Etude préliminaire (II)
- Géométrie du système final (I)
- Géométrie du système final (II)
- Ajustement par un polytrope
- Ajustement sphère isotherme
- Exemple d'ajustement
- Densités finales
- Ségrégation de taille
- Énergie température
- Énergie température

Conclusion





Géométrie du système final (I)

Problème étudié

Modélisation

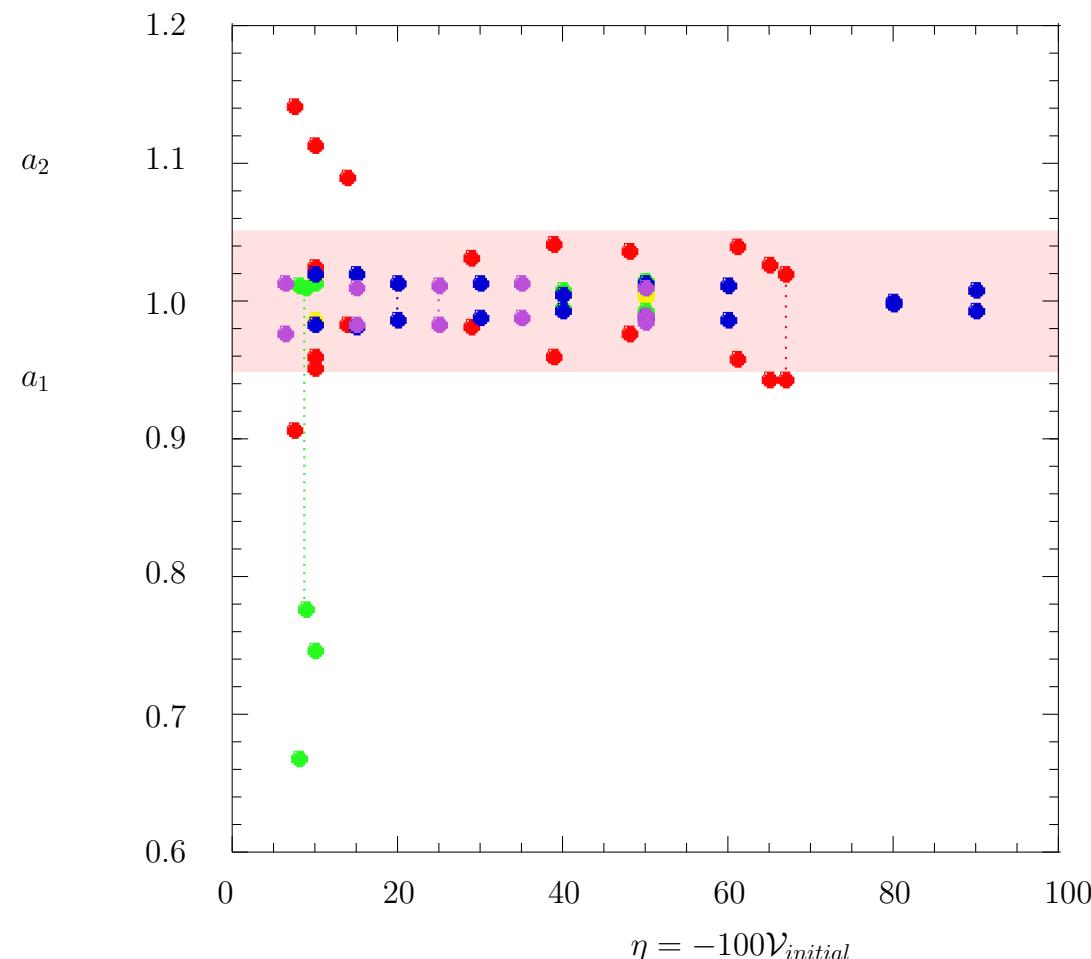
Outils numériques

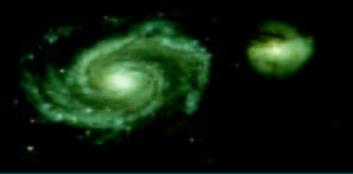
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

- Effondrement
- Etude préliminaire
- Etude préliminaire (II)
- Géométrie du système final (I)
- Géométrie du système final (II)
- Ajustement par un polytrope
- Ajustement sphère isotherme
- Exemple d'ajustement
- Densités finales
- Ségrégation de taille
- Énergie température
- Énergie température

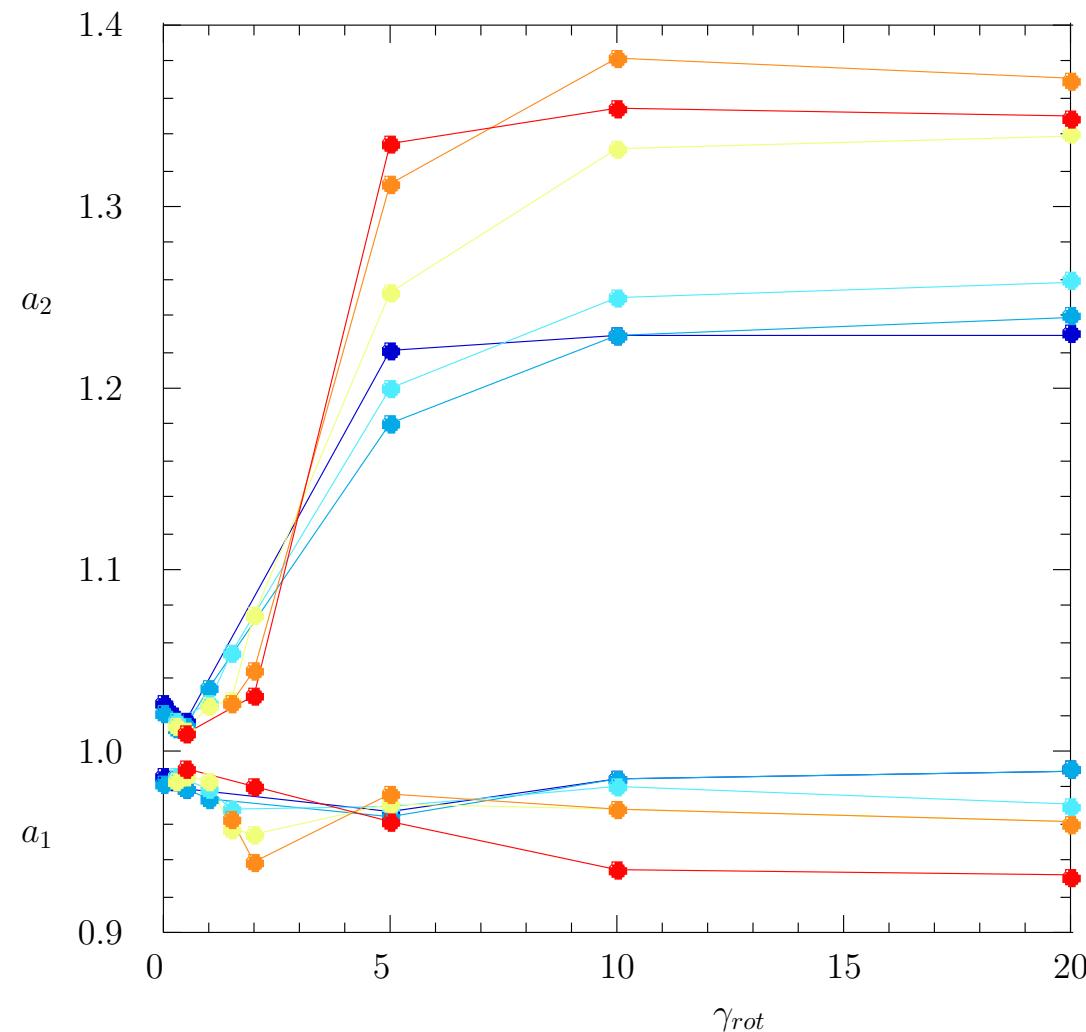
Conclusion

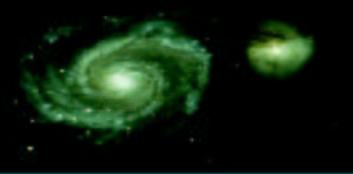




Géométrie du système final (II)

- Problème étudié
- Modélisation
- Outils numériques
- Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004
- Résultats
 - Effondrement
 - Etude préliminaire
 - Etude préliminaire (II)
 - Géométrie du système final (I)
 - Géométrie du système final (II)
 - Ajustement par un polytrope
 - Ajustement sphère isotherme
 - Exemple d'ajustement
 - Densités finales
 - Ségrégation de taille
 - Énergie température
 - Énergie température
- Conclusion





Ajustement par un polytrope

Problème étudié

Modélisation

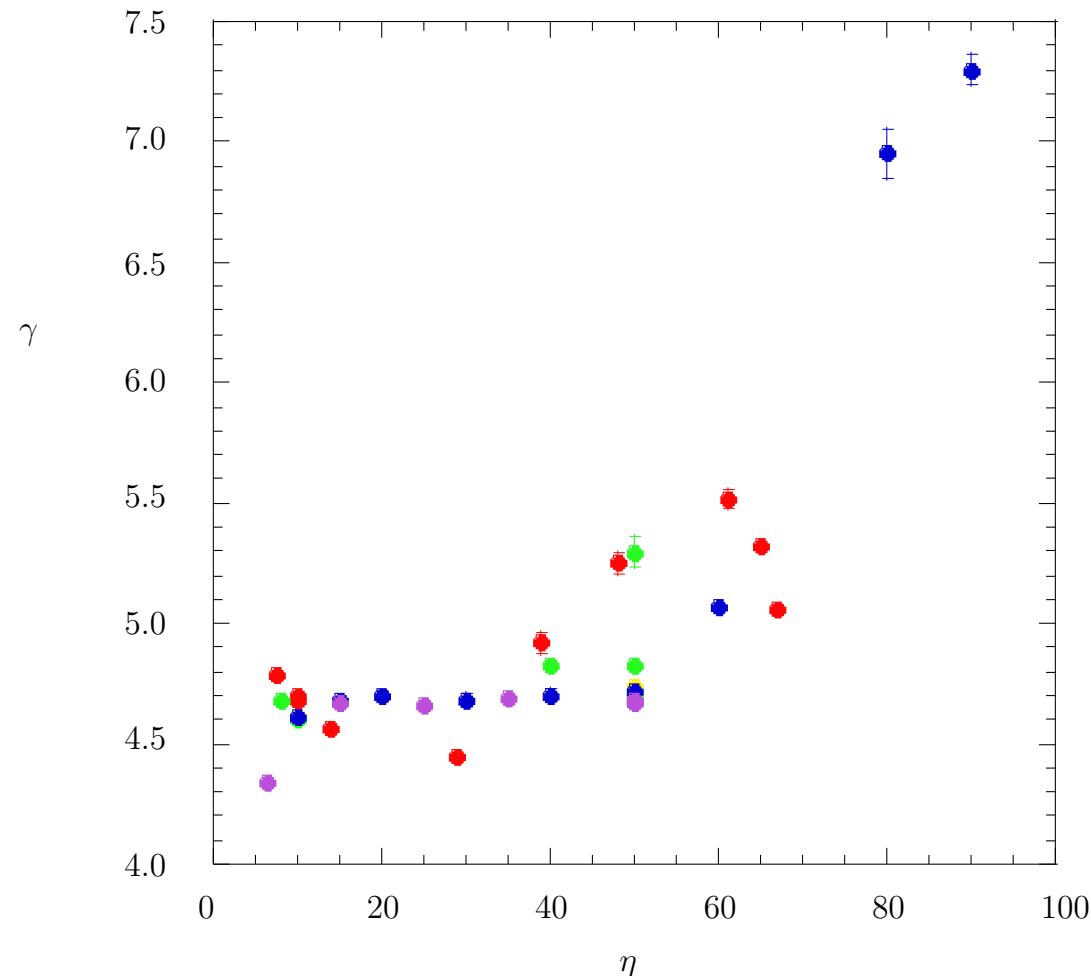
Outils numériques

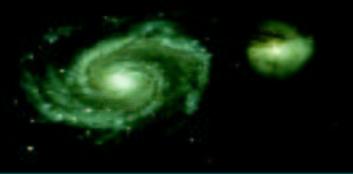
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

- Effondrement
- Etude préliminaire
- Etude préliminaire (II)
- Géométrie du système final (I)
- Géométrie du système final (II)
- Ajustement par un polytrope
- Ajustement sphère isotherme
- Exemple d'ajustement
- Densités finales
- Ségrégation de taille
- Énergie température
- Énergie température

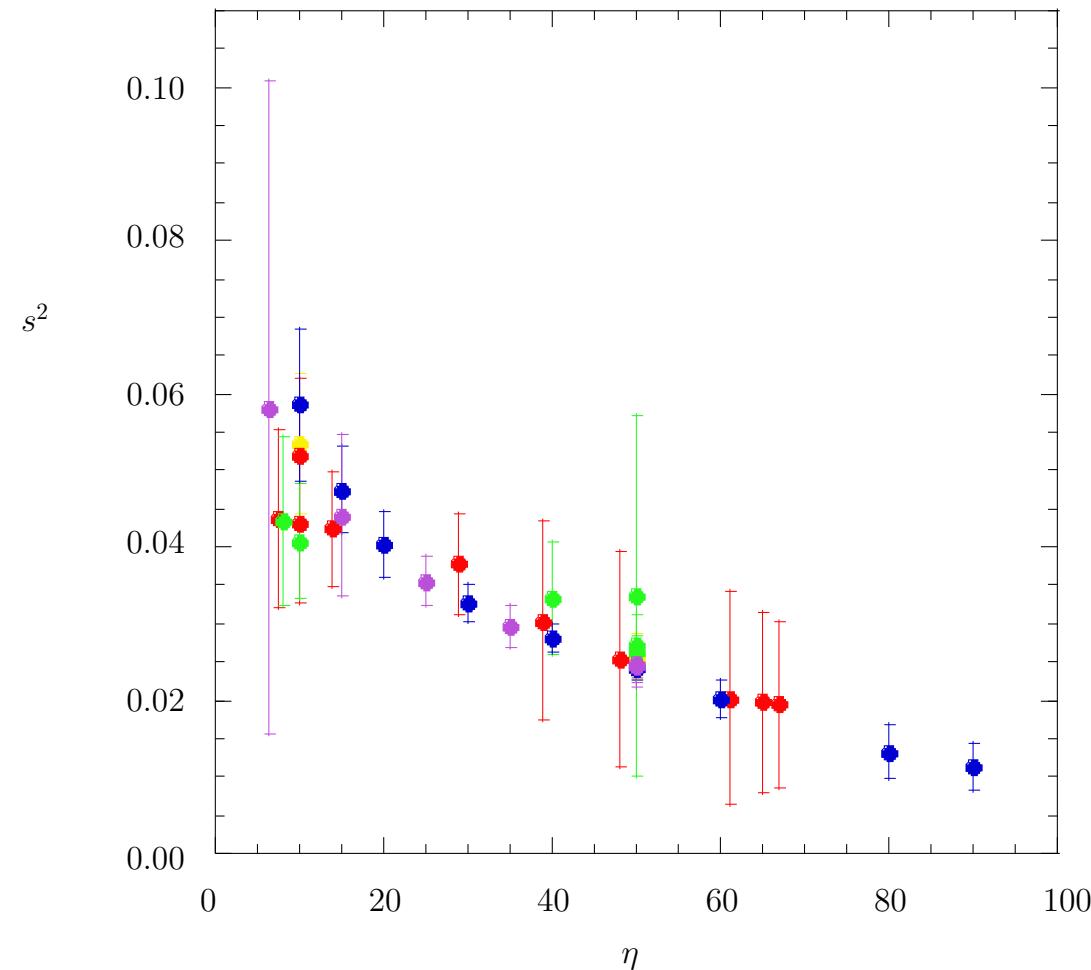
Conclusion

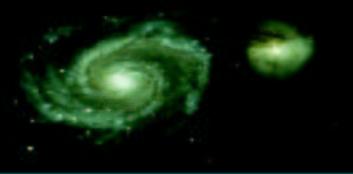




Ajustement par une sphère isotherme

- Problème étudié
- Modélisation
- Outils numériques
- Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004
- Résultats
 - Effondrement
 - Etude préliminaire
 - Etude préliminaire (II)
 - Géométrie du système final (I)
 - Géométrie du système final (II)
 - Ajustement par un polytrope
 - Ajustement sphère isotherme
 - Exemple d'ajustement
 - Densités finales
 - Ségrégation de taille
 - Énergie température
 - Énergie température
- Conclusion





Exemple d'ajustement

Problème étudié

Modélisation

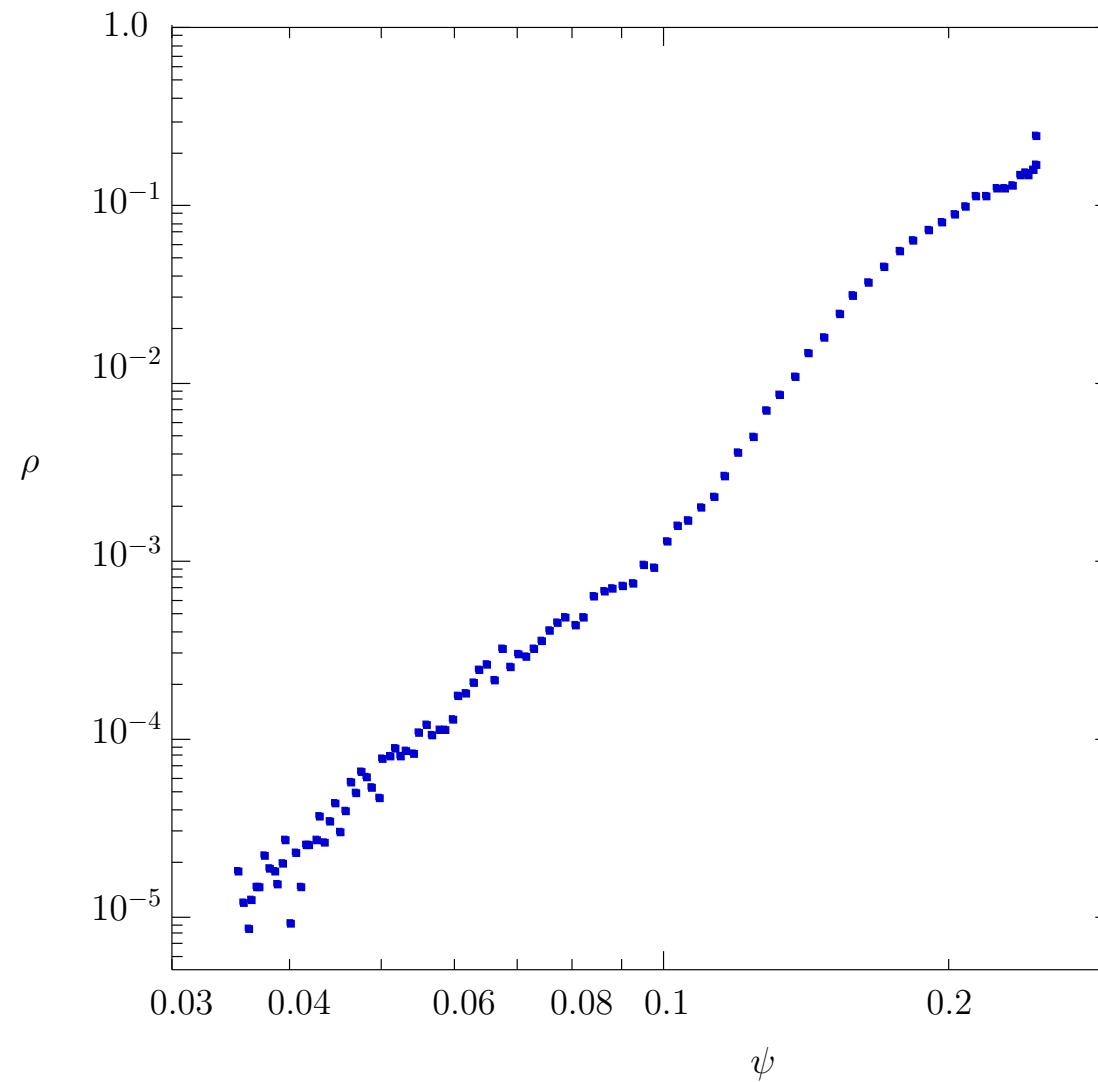
Outils numériques

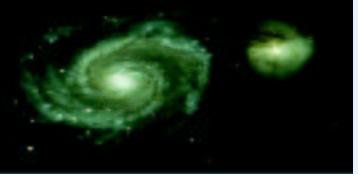
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

- Effondrement
- Etude préliminaire
- Etude préliminaire (II)**
- Géométrie du système final (I)
- Géométrie du système final (II)
- Ajustement par un polytrope
- Ajustement sphère isotherme
- Exemple d'ajustement
- Densités finales
- Ségrégation de taille
- Énergie température
- Énergie température

Conclusion





Exemple d'ajustement

Problème étudié

Modélisation

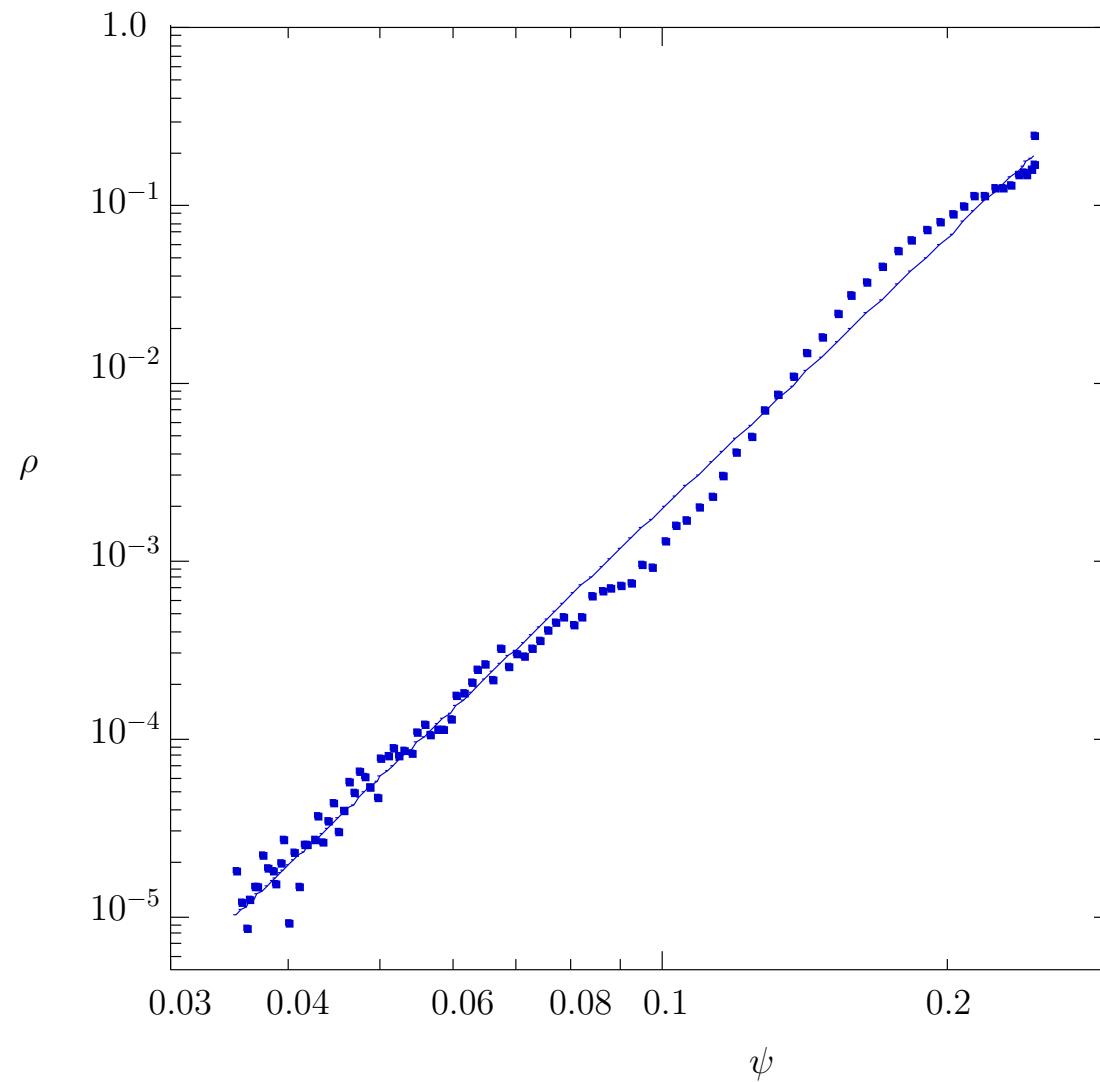
Outils numériques

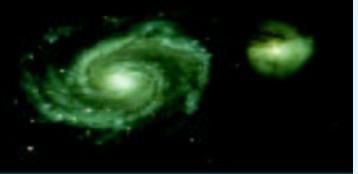
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

- Effondrement
- Etude préliminaire
- Etude préliminaire (II)
- Géométrie du système final (I)
- Géométrie du système final (II)
- Ajustement par un polytrope
- Ajustement sphère isotherme
- Exemple d'ajustement
- Densités finales
- Ségrégation de taille
- Énergie température
- Énergie température

Conclusion





Exemple d'ajustement

Problème étudié

Modélisation

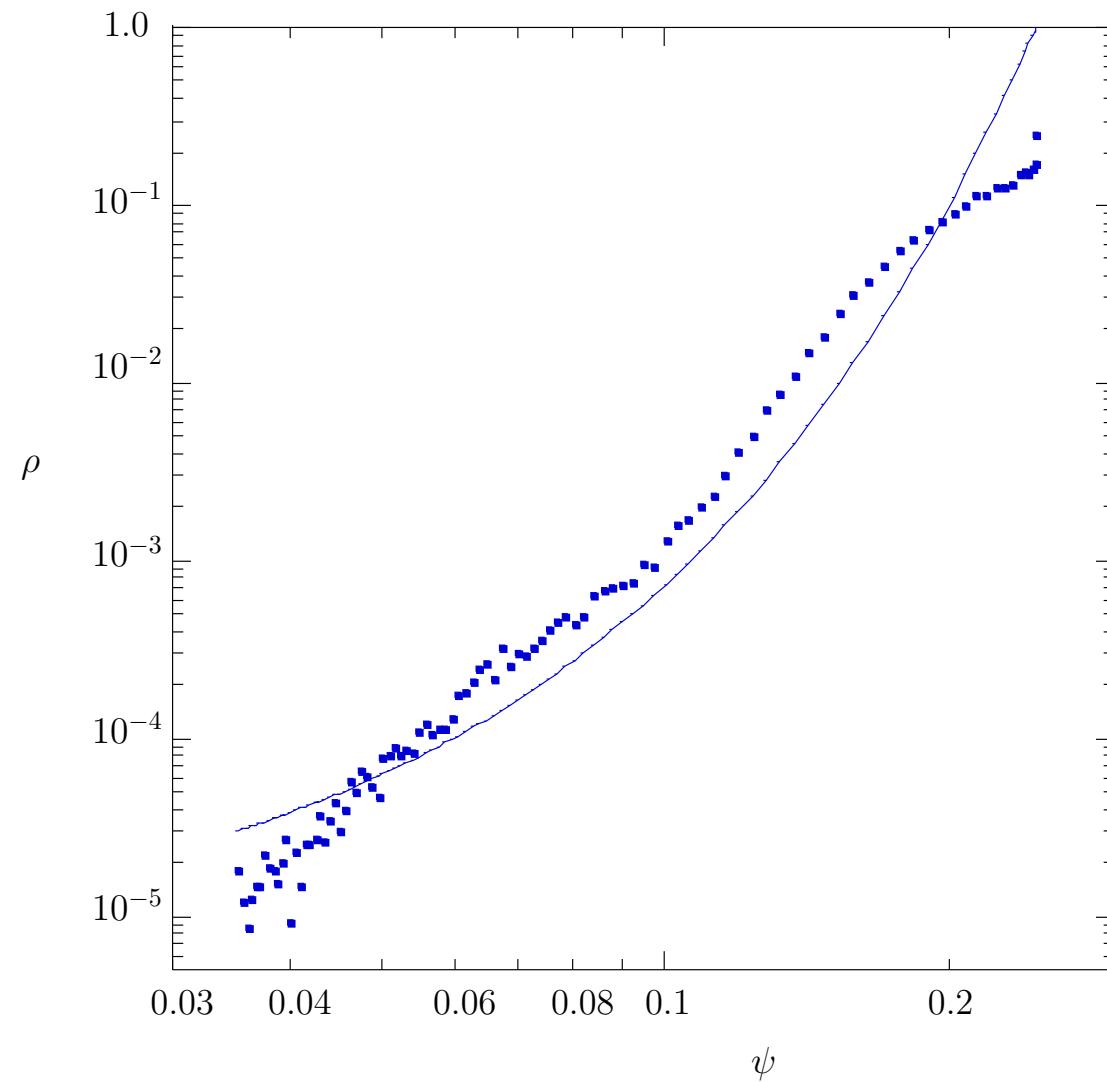
Outils numériques

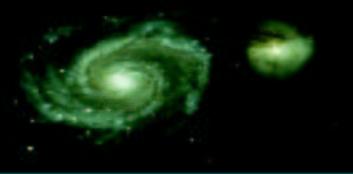
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

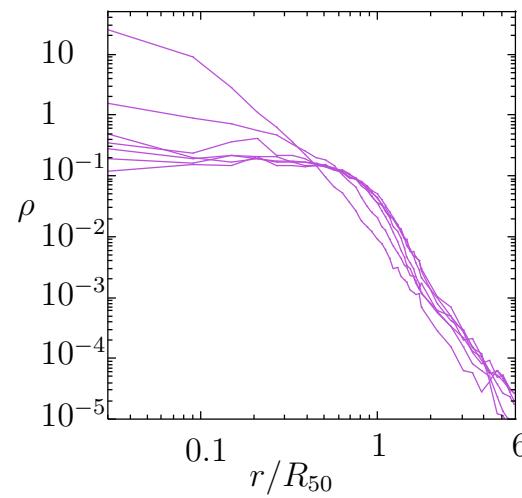
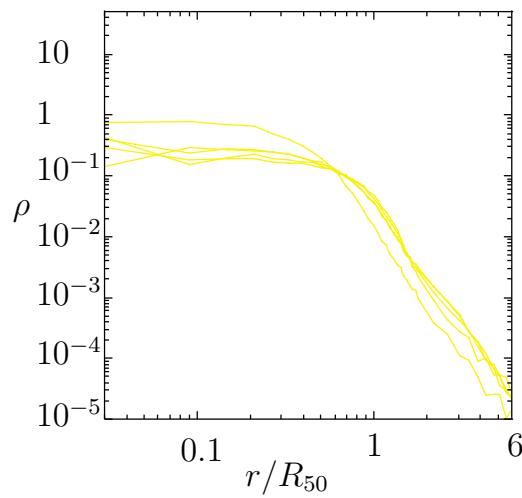
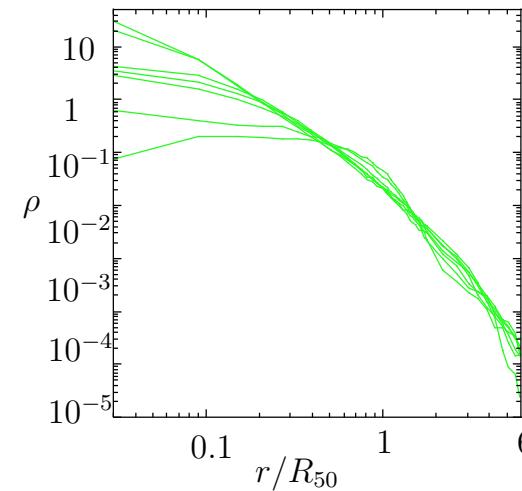
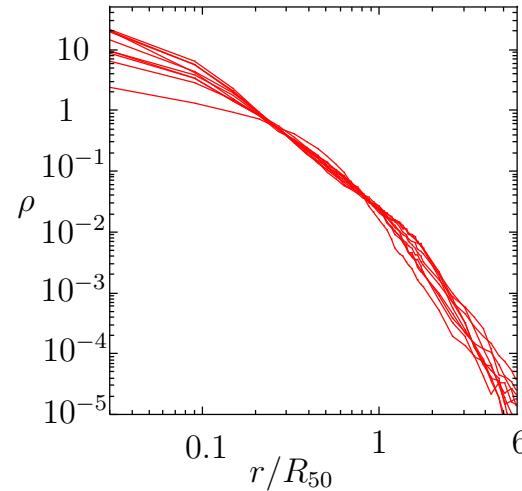
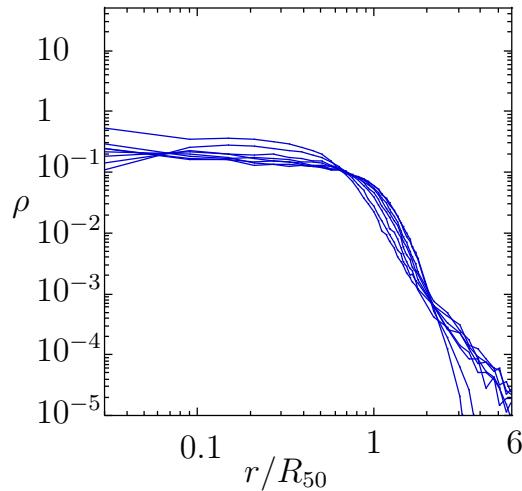
- Effondrement
- Etude préliminaire
- Etude préliminaire (II)
- Géométrie du système final (I)
- Géométrie du système final (II)
- Ajustement par un polytrope
- Ajustement sphère isotherme
- Exemple d'ajustement
- Densités finales
- Ségrégation de taille
- Énergie température
- Énergie température

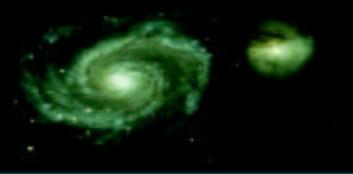
Conclusion





Densités finales





Ségrégation de taille

Problème étudié

Modélisation

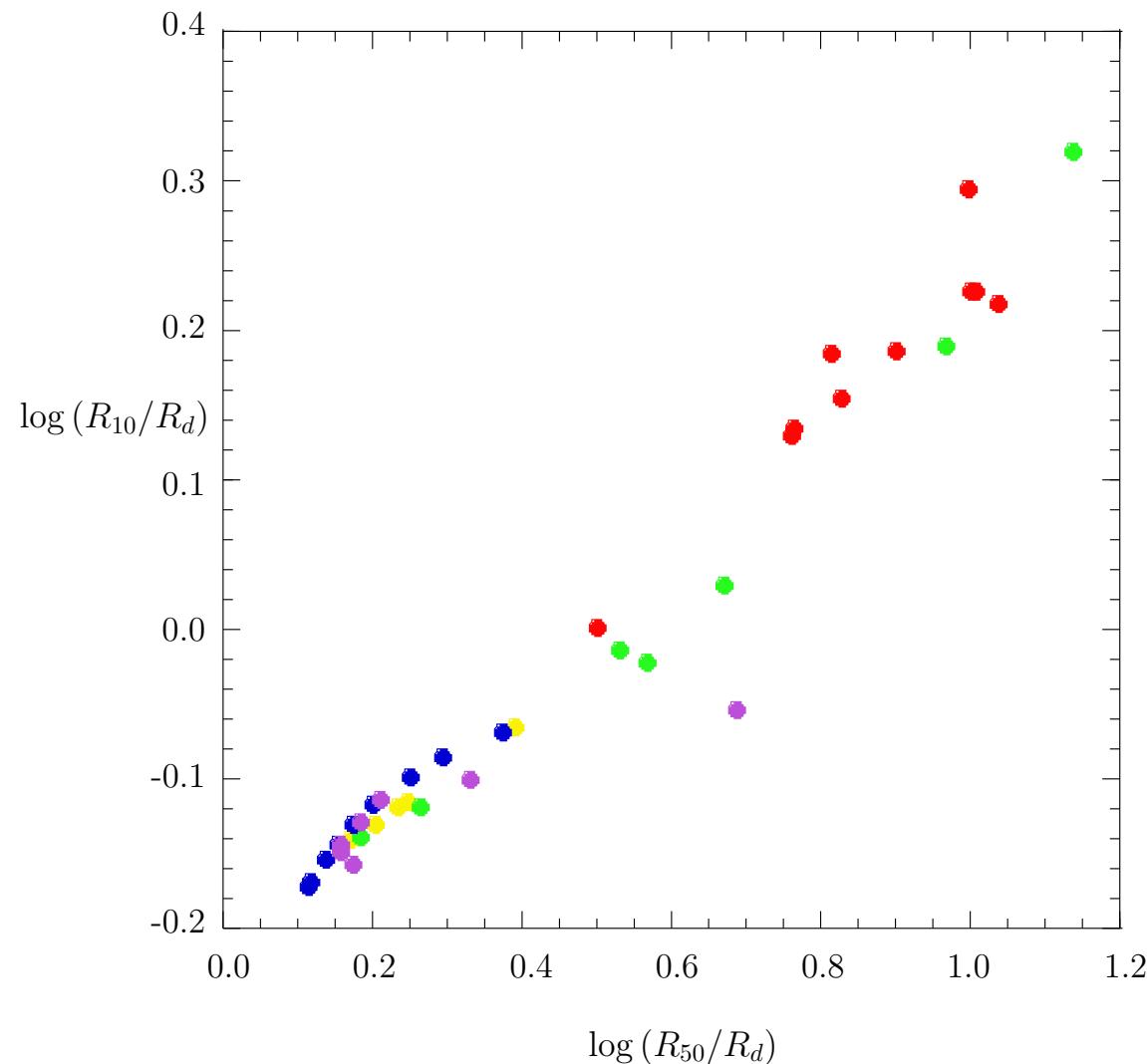
Outils numériques

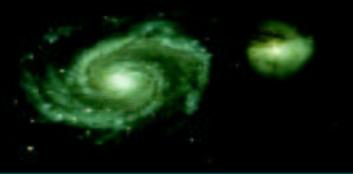
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

- Effondrement
- Etude préliminaire
- Etude préliminaire (II)
- Géométrie du système final (I)
- Géométrie du système final (II)
- Ajustement par un polytrope
- Ajustement sphère isotherme
- Exemple d'ajustement
- Densités finales
- Ségrégation de taille
- Énergie température
- Énergie température

Conclusion





Ségrégation de taille

Problème étudié

Modélisation

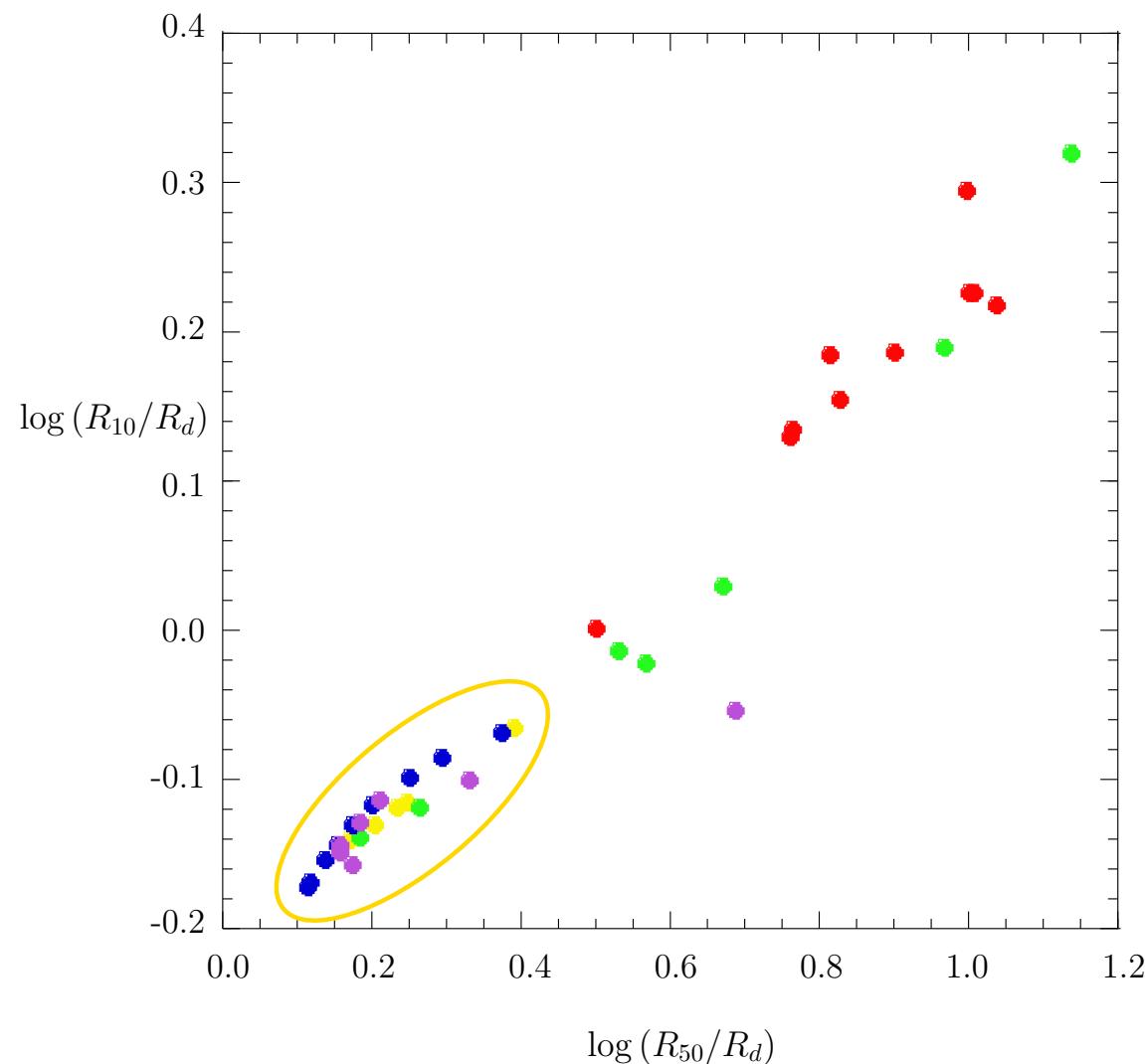
Outils numériques

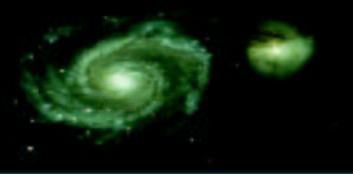
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

- Effondrement
- Etude préliminaire
- Etude préliminaire (II)
- Géométrie du système final (I)
- Géométrie du système final (II)
- Ajustement par un polytrope
- Ajustement sphère isotherme
- Exemple d'ajustement
- Densités finales
- Ségrégation de taille
- Énergie température
- Énergie température

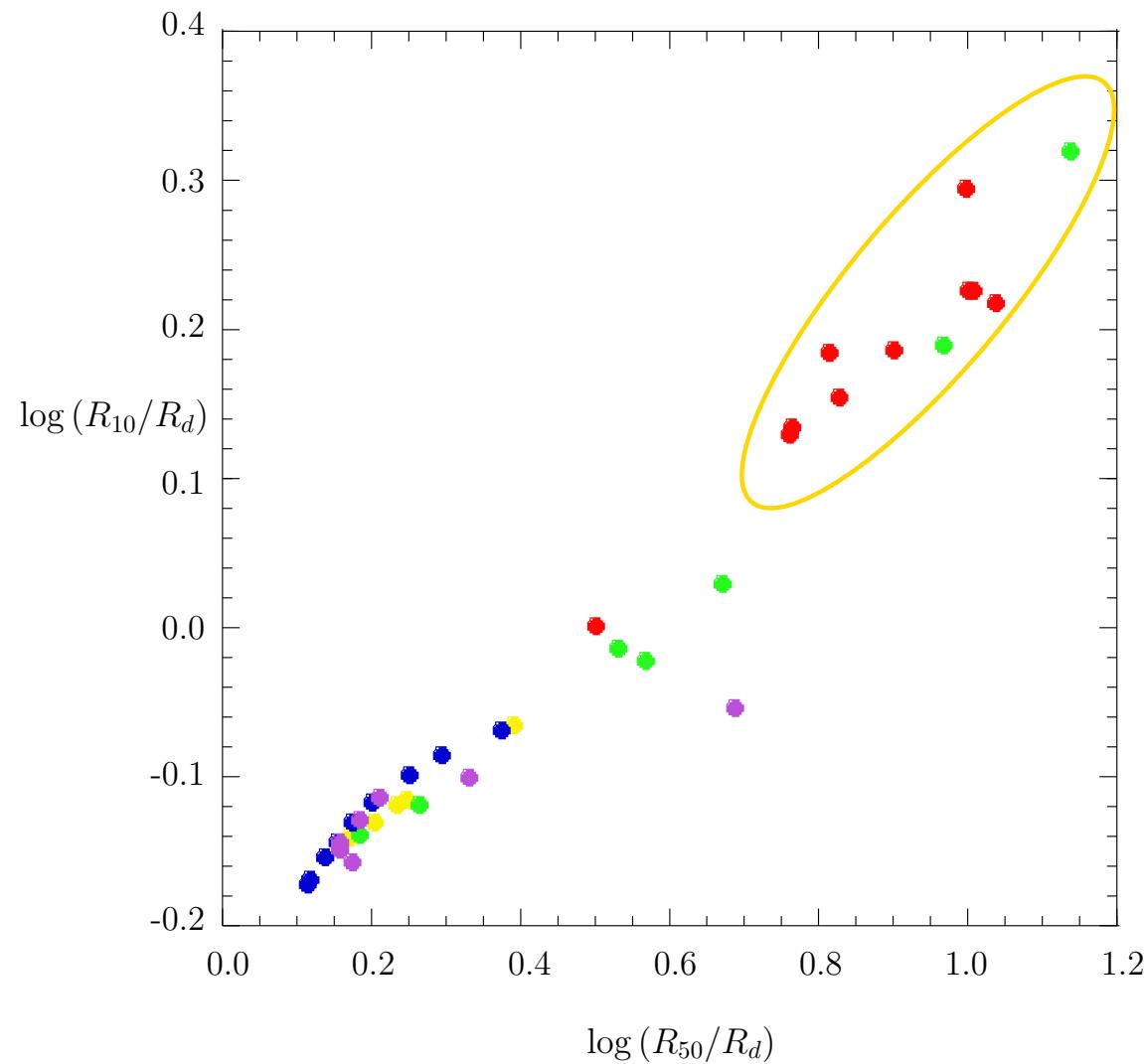
Conclusion

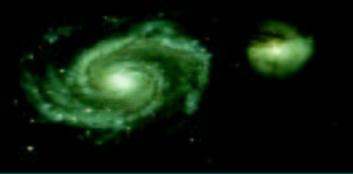




Ségrégation de taille

- Problème étudié
- Modélisation
- Outils numériques
- Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004
- Résultats
 - Effondrement
 - Etude préliminaire
 - Etude préliminaire (II)
 - Géométrie du système final (I)
 - Géométrie du système final (II)
 - Ajustement par un polytrope
 - Ajustement sphère isotherme
 - Exemple d'ajustement
 - Densités finales
 - Ségrégation de taille
 - Énergie température
 - Énergie température
- Conclusion





Ségrégation de taille

Problème étudié

Modélisation

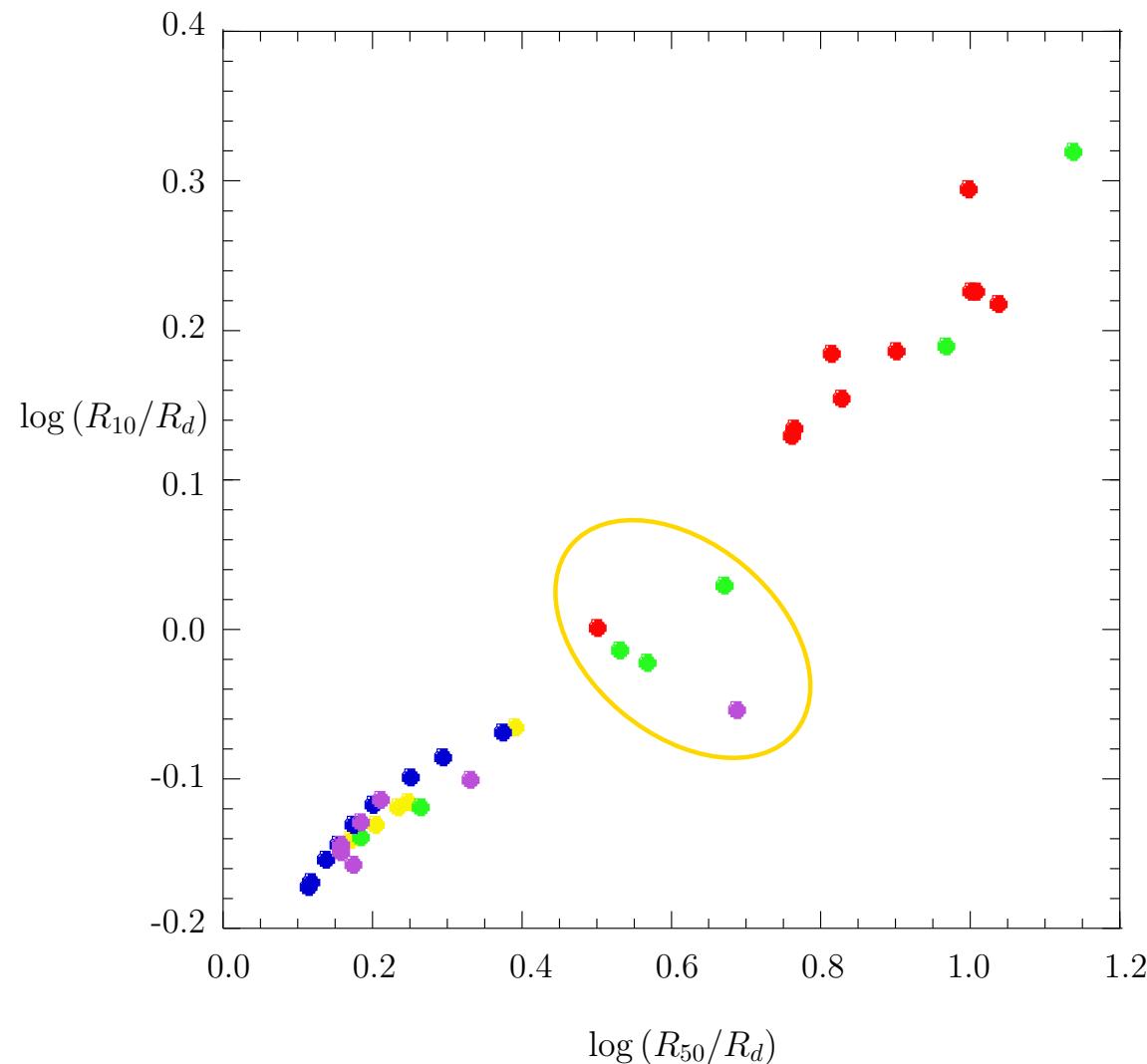
Outils numériques

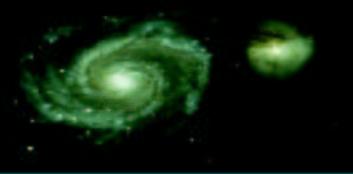
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

- Effondrement
- Etude préliminaire
- Etude préliminaire (II)
- Géométrie du système final (I)
- Géométrie du système final (II)
- Ajustement par un polytrope
- Ajustement sphère isotherme
- Exemple d'ajustement
- Densités finales
- Ségrégation de taille
- Énergie température
- Énergie température

Conclusion





Énergie température

Problème étudié

Modélisation

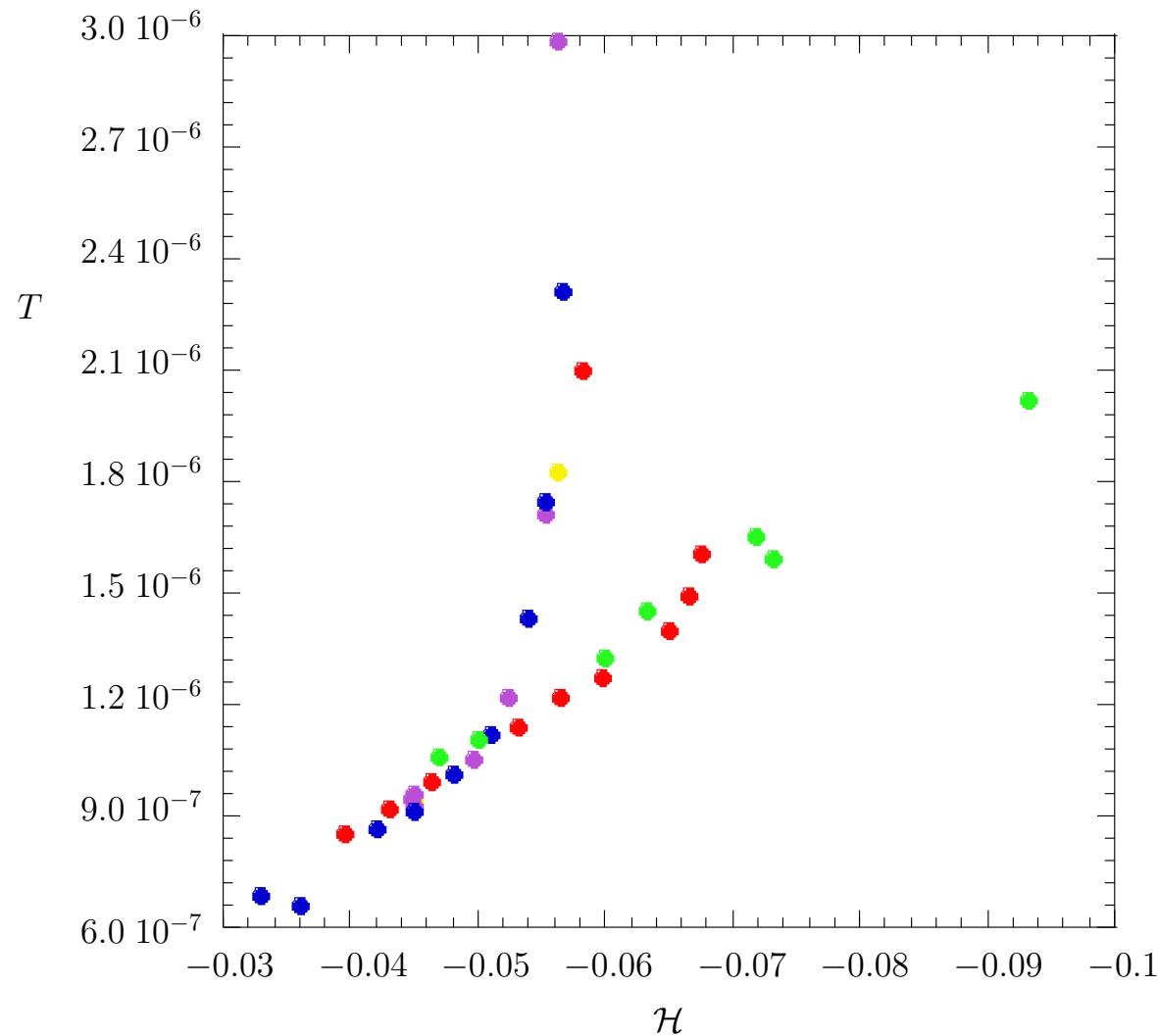
Outils numériques

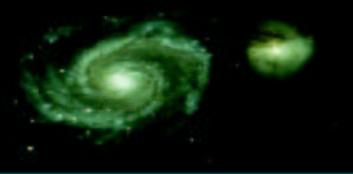
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

- Effondrement
- Etude préliminaire
- Etude préliminaire (II)
- Géométrie du système final (I)
- Géométrie du système final (II)
- Ajustement par un polytrope
- Ajustement sphère isotherme
- Exemple d'ajustement
- Densités finales
- Ségrégation de taille
- Énergie température
- Énergie température

Conclusion





Énergie température

Problème étudié

Modélisation

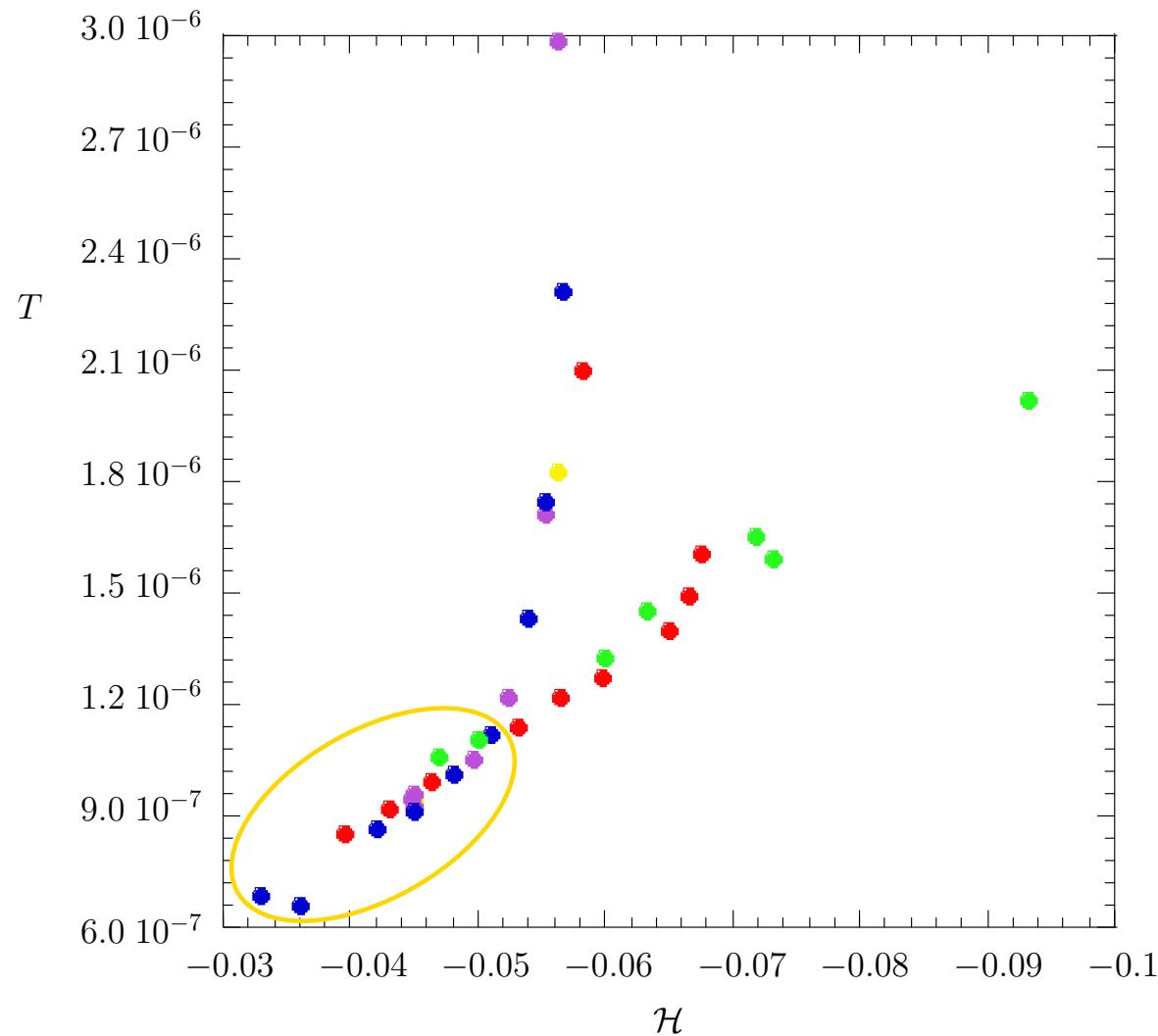
Outils numériques

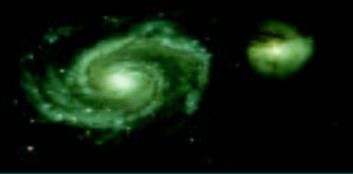
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

- Effondrement
- Etude préliminaire
- Etude préliminaire (II)
- Géométrie du système final (I)
- Géométrie du système final (II)
- Ajustement par un polytrope
- Ajustement sphère isotherme
- Exemple d'ajustement
- Densités finales
- Ségrégation de taille
- Énergie température
- Énergie température

Conclusion





Énergie température

Problème étudié

Modélisation

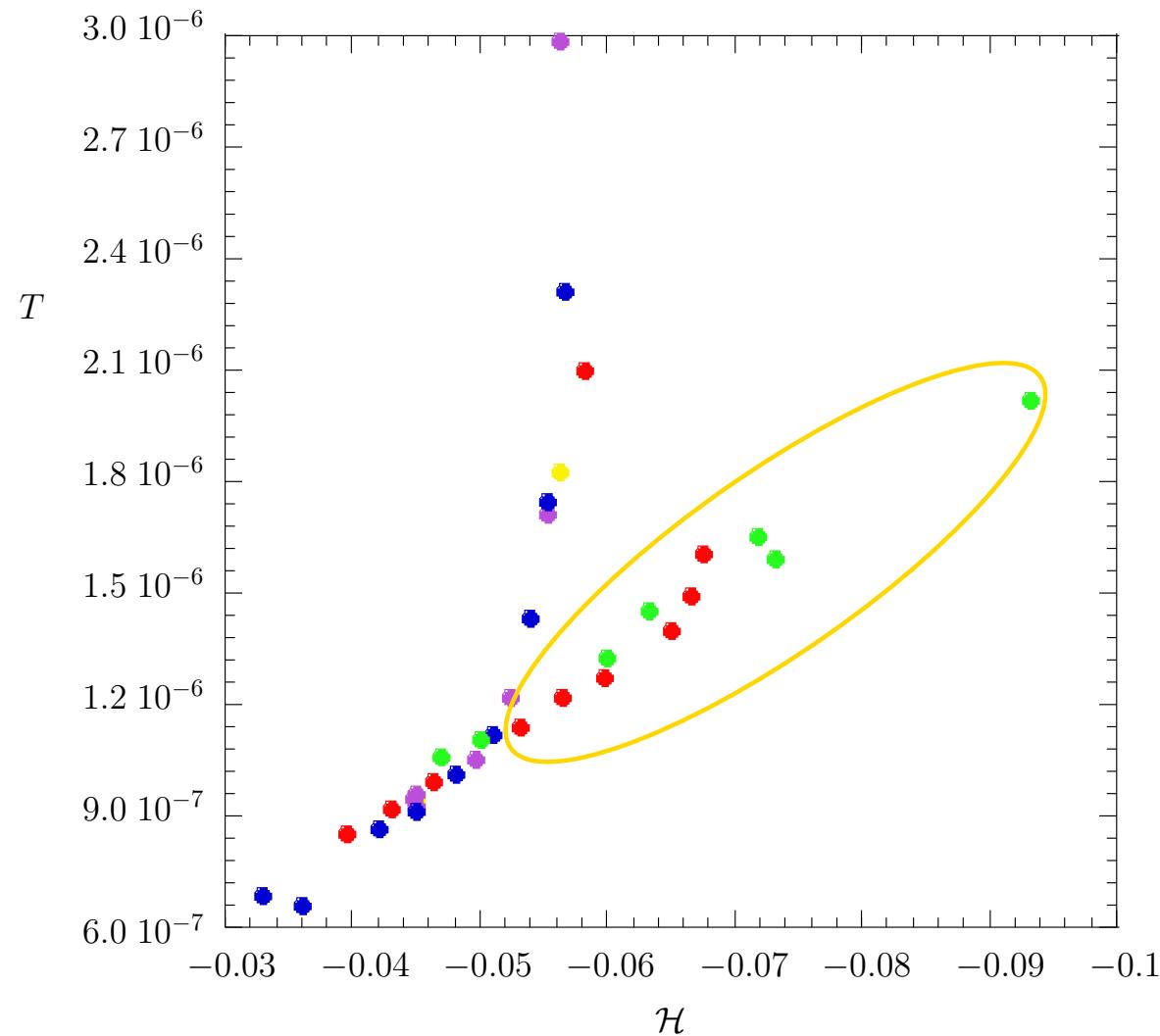
Outils numériques

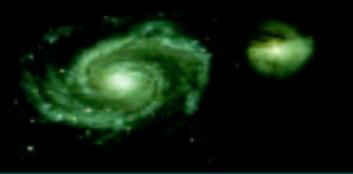
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

- Effondrement
- Etude préliminaire
- Etude préliminaire (II)
- Géométrie du système final (I)
- Géométrie du système final (II)
- Ajustement par un polytrope
- Ajustement sphère isotherme
- Exemple d'ajustement
- Densités finales
- Ségrégation de taille
- Énergie température
- Énergie température

Conclusion





Énergie température

Problème étudié

Modélisation

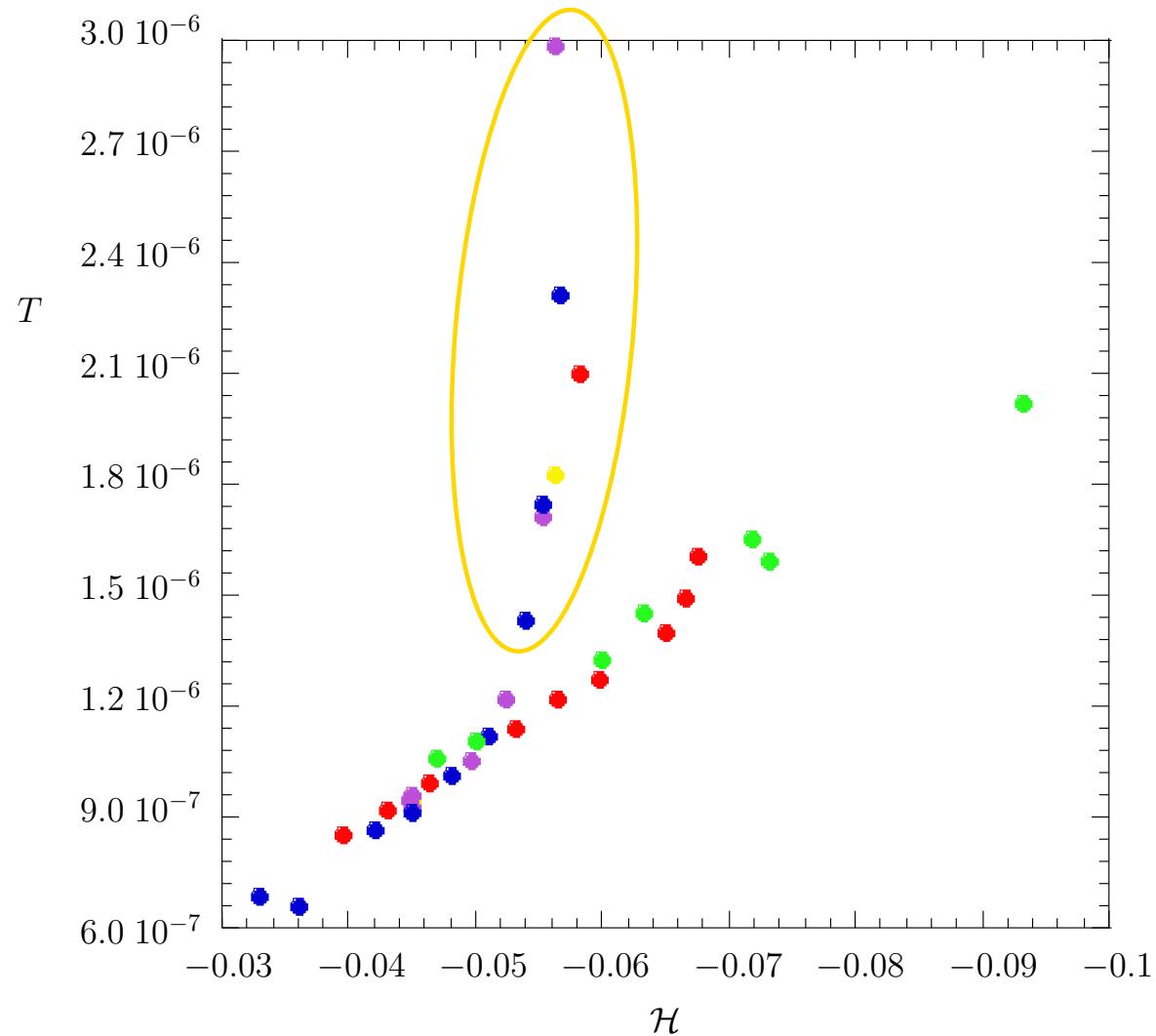
Outils numériques

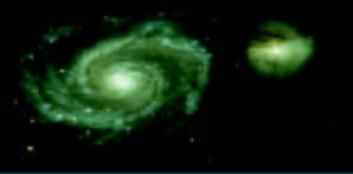
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

- Effondrement
- Etude préliminaire
- Etude préliminaire (II)
- Géométrie du système final (I)
- Géométrie du système final (II)
- Ajustement par un polytrope
- Ajustement sphère isotherme
- Exemple d'ajustement
- Densités finales
- Ségrégation de taille
- Énergie température
- Énergie température

Conclusion





Énergie température

Problème étudié

Modélisation

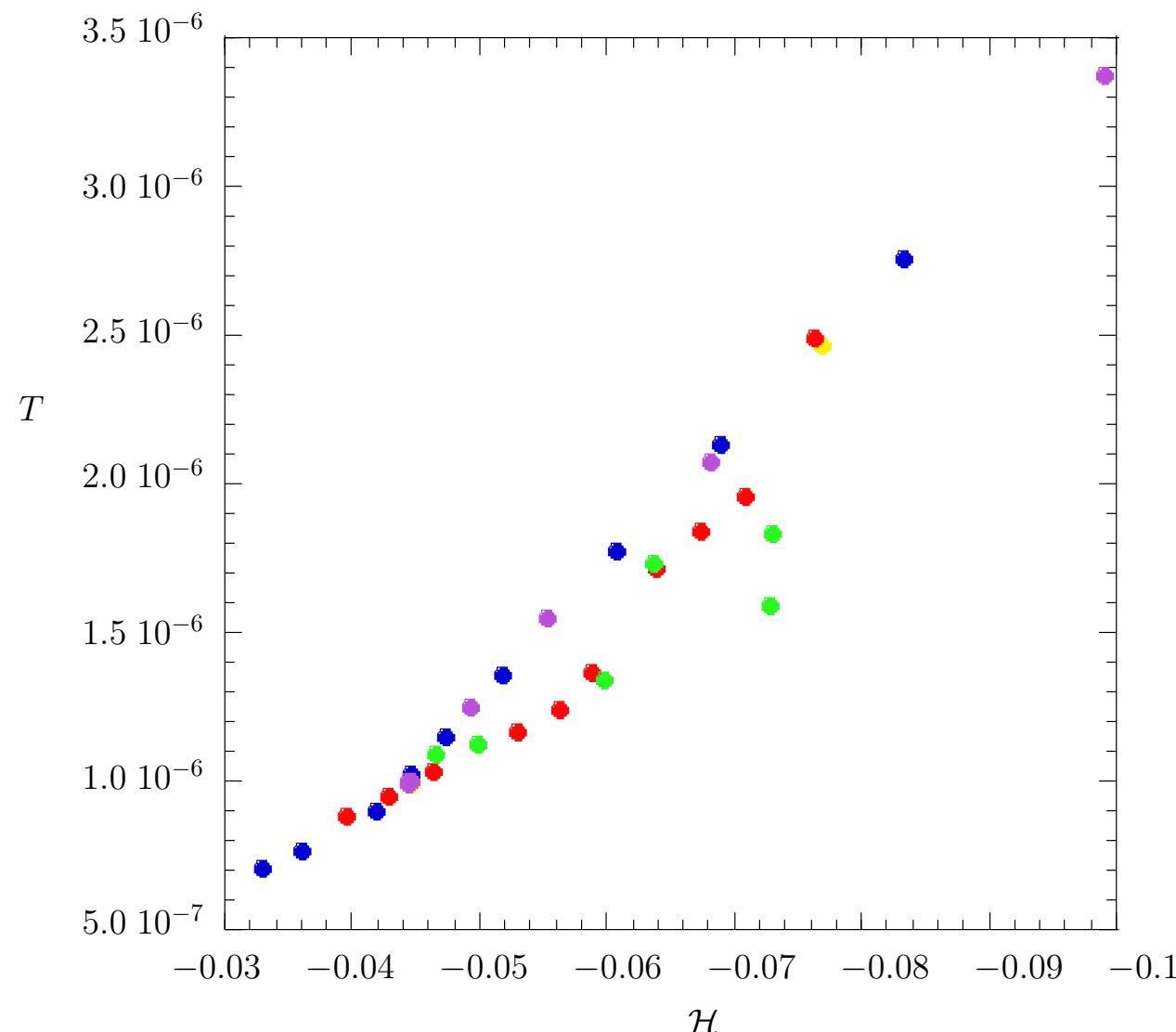
Outils numériques

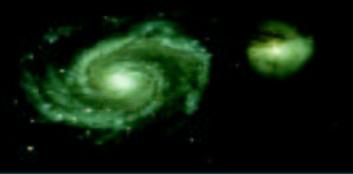
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

- Effondrement
- Etude préliminaire
- Etude préliminaire (II)
- Géométrie du système final (I)
- Géométrie du système final (II)
- Ajustement par un polytrope
- Ajustement sphère isotherme
- Exemple d'ajustement
- Densités finales
- Ségrégation de taille
- Énergie température
- Énergie température

Conclusion





Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

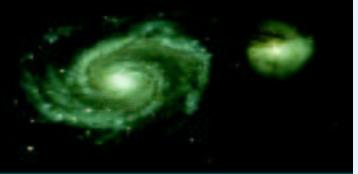
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

- Interprétations numériques
- Interprétations physiques
- Conclusion

Conclusion



Interprétations numériques

Problème étudié

Modélisation

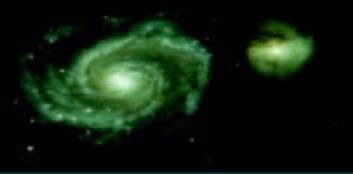
Outils numériques

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

- Interprétations numériques
- Interprétations physiques
- Conclusion



Interprétations numériques

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

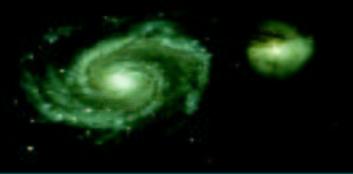
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

- Interprétations numériques
- Interprétations physiques
- Conclusion

■ $N = 30000$ particules : nécessaire et suffisant



Interprétations numériques

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

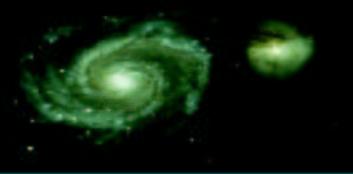
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

- Interprétations numériques
- Interprétations physiques
- Conclusion

- $N = 30000$ particules : nécessaire et suffisant
- État d'équilibre atteint pour chaque simulation



Interprétations numériques

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

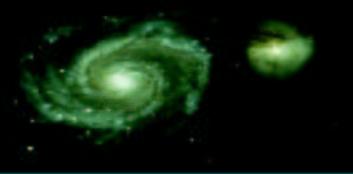
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

- Interprétations numériques
- Interprétations physiques
- Conclusion

- $N = 30000$ particules : nécessaire et suffisant
- État d'équilibre atteint pour chaque simulation
- $\Delta t/\varepsilon$ doit être limité



Interprétations physiques

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

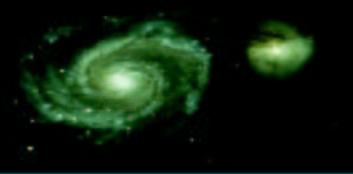
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

- Interprétations numériques
- Interprétations physiques
- Conclusion

	homogène	inhomogène
chaud		
froid		



Interprétations physiques

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

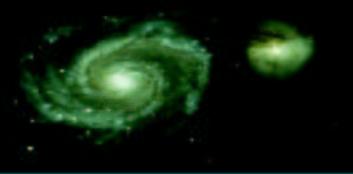
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

- Interprétations numériques
- Interprétations physiques
- Conclusion

	homogène	inhomogène
chaud	sphérique cœur-halo température élevée	
froid		



Interprétations physiques

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

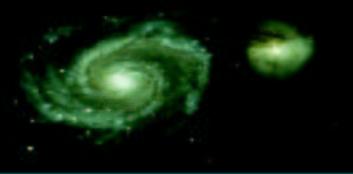
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

- Interprétations numériques
- Interprétations physiques
- Conclusion

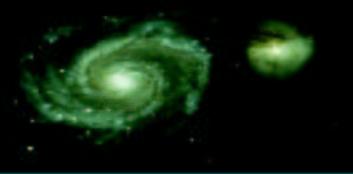
	homogène sphérique cœur-halo température élevée	inhomogène sphérique cœur effondré température basse
chaud	froid	



Interprétations physiques

Problème étudié
Modélisation
Outils numériques
Expériences d'effondrement - Roy & Perez, MNRAS, 2004
Résultats
Conclusion
<input checked="" type="radio"/> Interprétations numériques
<input type="radio"/> Interprétations physiques
<input type="radio"/> Conclusion

	homogène	inhomogène
chaud	sphérique cœur-halo température élevée	sphérique cœur effondré température basse
froid	sphérique cœur-halo température basse	



Interprétations physiques

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

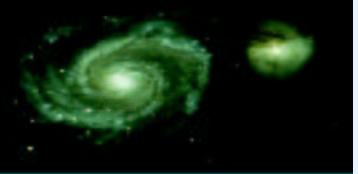
Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

- Interprétations numériques
- Interprétations physiques
- Conclusion

	homogène	inhomogène
chaud	sphérique cœur-halo température élevée	sphérique cœur effondré température moyenne
froid	sphérique cœur-halo température basse	non sphérique cœur effondré température basse



Conclusion

Problème étudié

Modélisation

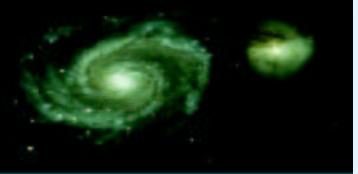
Outils numériques

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

- Interprétations numériques
- Interprétations physiques
- Conclusion



Conclusion

Conditions initialement homogènes

Problème étudié

Modélisation

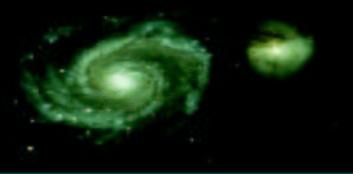
Outils numériques

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

- Interprétations numériques
- Interprétations physiques
- Conclusion



Conclusion

Conditions initialement homogènes (vraisemblable à petite échelle) :

Problème étudié

Modélisation

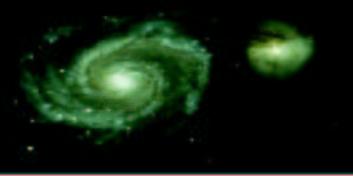
Outils numériques

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

- Interprétations numériques
- Interprétations physiques
- Conclusion



Conclusion

Conditions initialement homogènes (vraisemblable à petite échelle) :
formation de systèmes à structure cœur-halo

Problème étudié

Modélisation

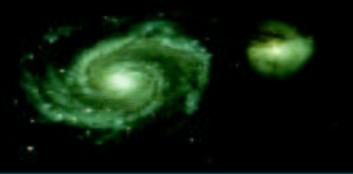
Outils numériques

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

- Interprétations numériques
- Interprétations physiques
- Conclusion



Conclusion

Conditions initialement homogènes (vraisemblable à petite échelle) :

formation de systèmes à structure cœur-halo

Amas globulaire présentent une structure cœur-halo (pas de cœur effondré)

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

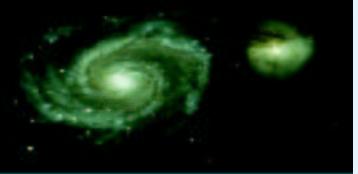
Résultats

Conclusion

● Interprétations numériques

● Interprétations physiques

● Conclusion



Conclusion

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

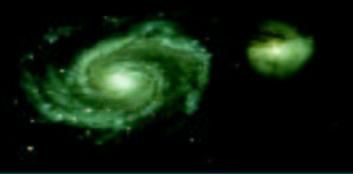
- Interprétations numériques
- Interprétations physiques
- Conclusion

Conditions initialement homogènes (vraisemblable à petite échelle) :

formation de systèmes à structure cœur-halo

Amas globulaire présentent une structure cœur-halo (pas de cœur effondré)





Conclusion

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

● Interprétations numériques

● Interprétations physiques

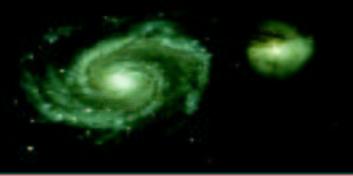
● Conclusion

Conditions initialement homogènes (vraisemblable à petite échelle) :

formation de systèmes à structure cœur-halo

Amas globulaire présentent une structure cœur-halo (pas de cœur effondré)

Conditions initialement inhomogène



Conclusion

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

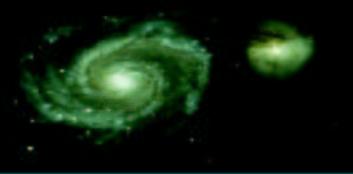
- Interprétations numériques
- Interprétations physiques
- Conclusion

Conditions initialement homogènes (vraisemblable à petite échelle) :

formation de systèmes à structure cœur-halo

Amas globulaire présentent une structure cœur-halo (pas de cœur effondré)

Conditions initialement inhomogène (grande échelle, scénario de formation hiérarchique) :



Conclusion

- [Problème étudié](#)
- [Modélisation](#)
- [Outils numériques](#)
- [Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004](#)
- [Résultats](#)
- [Conclusion](#)
 - Interprétations numériques
 - Interprétations physiques
 - Conclusion

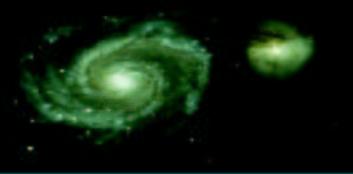
Conditions initialement homogènes (vraisemblable à petite échelle) :

formation de systèmes à structure cœur-halo

Amas globulaire présentent une structure cœur-halo (pas de cœur effondré)

Conditions initialement inhomogène (grande échelle, scénario de formation hiérarchique) :

formation de systèmes au cœur effondré et possiblement elliptique



Conclusion

Problème étudié

Modélisation

Outils numériques

Expériences d'effondrement -
Roy & Perez, MNRAS, 2004

Résultats

Conclusion

- Interprétations numériques
- Interprétations physiques
- Conclusion

Conditions initialement homogènes (vraisemblable à petite échelle) :

formation de systèmes à structure cœur-halo

Amas globulaire présentent une structure cœur-halo (pas de cœur effondré)

Conditions initialement inhomogène (grande échelle, scénario de formation hiérarchique) :

formation de systèmes au cœur effondré et possiblement elliptique

⇒ présence de trou noir au centre des galaxies elliptiques