



# Laboratoire de Physique Théorique

---

- GPT du LCPQ fondé par J. Bellissard en 1991
- Statut d'UMR 5152 UPS/CNRS depuis 2003
- Membre de l'IRSAMC (Fédération de Physique et Chimie Fondamentales - FR2568)

## 4 équipes de recherche :

- Fermions fortement corrélés
- Information et chaos quantiques
- Physique statistique des systèmes complexes
- Systèmes de fermions finis - Agrégats

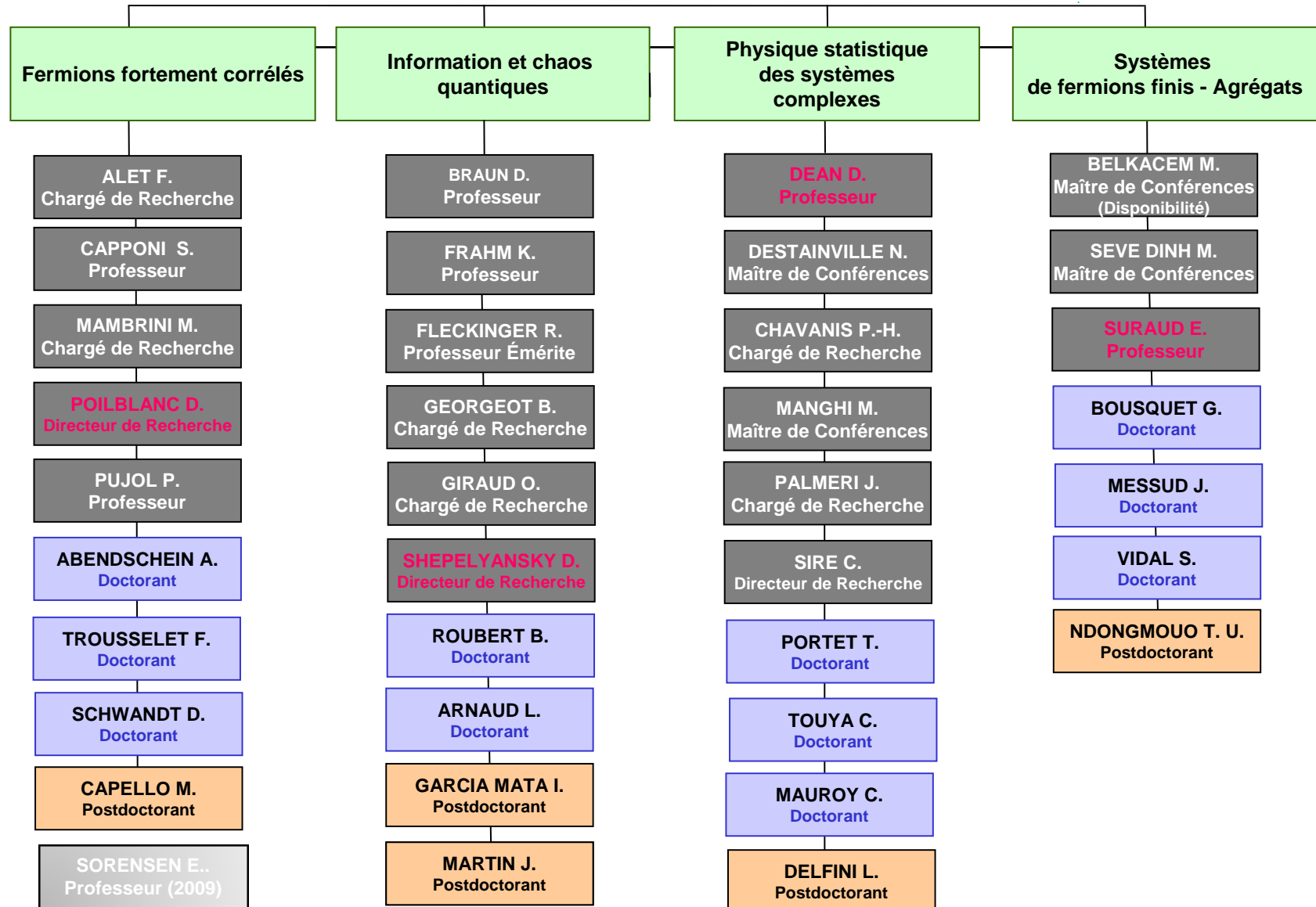
# Laboratoire de Physique Théorique (UMR 5152 UPS/CNRS)

Directeur : Clément SIRE

Secrétariat/gestion : Sylvia MIRALLES-SCALDAFERRO (AI CNRS)

Service informatique : Sandrine LE MAGOAROU (IRSAMC ; 50% au LPT)

9 chercheurs / 11 enseignants-chercheurs – 1.5 ITA – 11 doctorants – 5 postdoctorants





# Quelques repères

---

- Équilibre personnels UPS/CNRS : 11/9 + 1.5 AI CNRS
- Un laboratoire « **jeune** » (~38 ans), **international** (2 Ger, 1 Alg, Den, Rus, UK, US, Ven), et **pluridisciplinaire** (évalué par les sections 02, 04, 05, 06 du CNRS)
- 250 publications (75/an en 2006-2008) et 110 conférences invitées en 2003-2006 [tous les permanents du LPT (hors PR Emérite) sont « publiants » dès le mi-contrat quadriennal 2007-2010]
- Nombreuses collaborations internationales, nationales, et locales (IMT-MIP, IPBS, LMGM, LPCQ, LNCMP, OMP)
- Nouveau cluster de calcul de 280 processeurs effectifs (150k€ investis en 2007-2008)
- Nombreux contrats de financement (~20 fois le montant de la dotation récurrente CNRS en 2008)



# Ressources 2007-2008 du LPT : ~ 480k€ HT /an

---

- Dotation UPS/CNRS : 46k€ TTC/23k€ HT
- 6 contrats ANR (2 « jeune chercheur », 2 « blanches », 2 NANO)
- 1 contrat européen EuroSQIP
- 1 PPF
- 1 Dotation CNRS « Interface physique, biologie et chimie : soutien à la prise de risque » en 2008
- 1 AO du CS de l'UPS en 2007 (avec l'IPBS)
- 1 dotation « mi-lourd » CNRS en 2007
- 1 Chaire d'excellence Pierre de Fermat en 2008
- 24 mois de postdoctorant CNRS en 2008
- + Budget IRSAMC : 160k€ TTC/an



# Personnels du LPT

---

- **UPS** : 1 PRE, 1 PR1, 4 PR2 (+ 1 retour en 2009), 1 PR Émérite, 4 MCF (1 ancien thésard recruté en section CNU 29)
- **CNRS** : 2 DR1, 1 DR2, 4 CR1, 2 CR2, 1.5 AI (1 ancien thésard recruté en section 06)
- 5 postdoctorants (2 départs/2 arrivées en 2009)
- ~10 thésards (~3 thèses/an) ; 1.5 bourse ED « Sciences de la Matière » [2002-2007 : 2 MCF/4 CR (+1 chercheur permanent Russie), 2 Prépa, 1 Info/finance, 1 Ingénierie mécanique (Allemagne), 2 Postdoctorants, 1 Prépa Agrég.]
- ~2.5 mois/an PR UPS invité et ~6 mois de CR CNRS invité/an
- 1 membre IUF junior et 2 ex membres IUF senior (1 ancien DSA IN2P3, 1 départ)
- 2 Médailles de Bronze CNRS (section 02 en 1994 et 2000)
- Prix Langevin 2005 de la SFP (parti en 2006)
- Déléguée Régionale du CNRS Midi-Pyrénées (partie en 2002)



# Fermions fortement corrélés

D. Poilblanc, F. Alet, S. Capponi, M. Mambrini, P. Pujol, E. Sorensen (2009)

---

## *Problème à $N$ corps quantique*

- Physique au-delà du liquide de Fermi
- Systèmes de basse dimensionnalité effective
- Transitions de phase quantiques
- Isolants magnétiques frustrés
- Supraconductivité non conventionnelle
- Influences des impuretés
- Atomes froids piégés sur des réseaux optiques



# Méthodes et compétences

---

**La présence de corrélations fortes rend l'approche champ moyen (Hartree-Fock) infructueuse**

→ **Approches analytiques non perturbatives:**

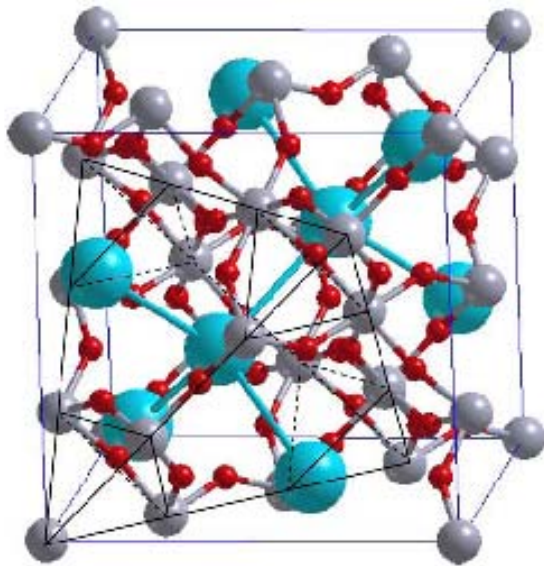
- Bosonisation
- Théorie conforme

→ **Méthodes numériques:**

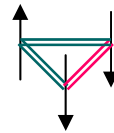
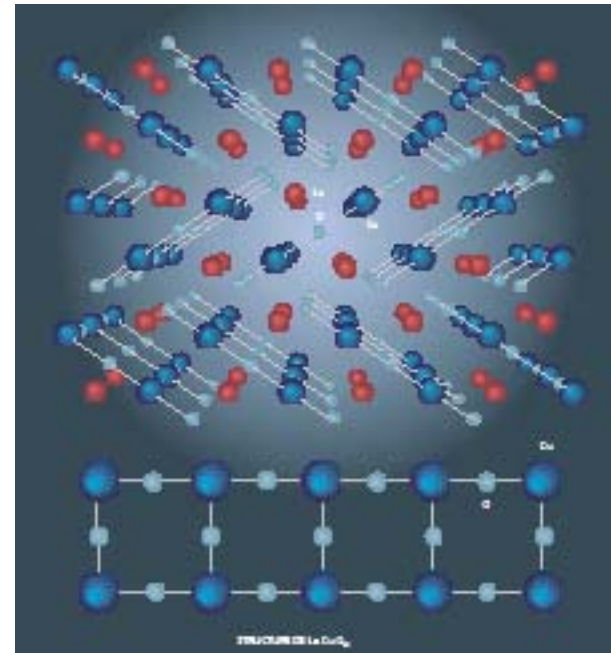
- Diagonalisation exacte
- Monte-Carlo quantique
- Groupe de renormalisation de la matrice densité
- Obtention de modèles effectifs plus simples à traiter
- ...

# Isolants magnétiques frustrés

○ Pyrochlores 3d



○ Echelles de spins 1d



"Frustration" de spins

# Supraconducteurs à haute $T_c$

Diagramme de phase expérimental

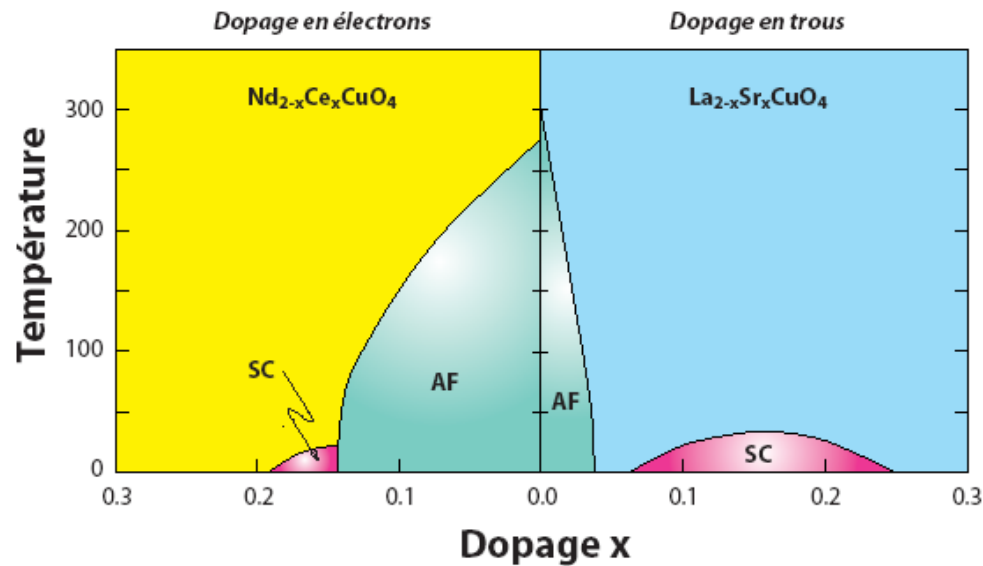
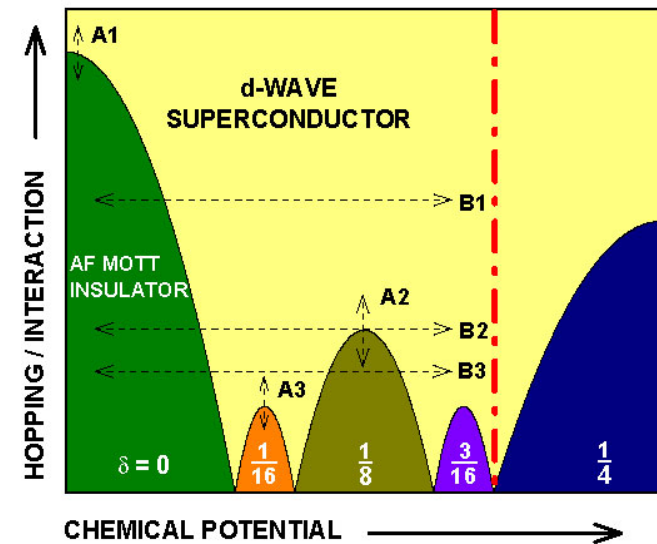


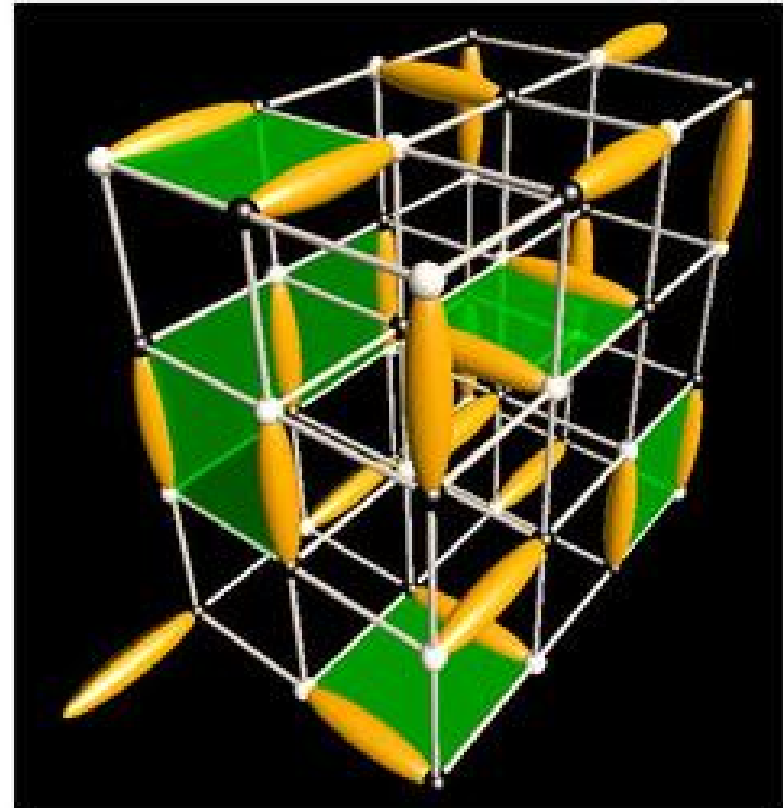
Diagramme de phase théorique



# Modèle effectif de dimères en 3d

---

- Comprendre les phases exotiques et les transitions de phase non conventionnelles
- Exemples concrets de « liquides de spins »
- Possibilités de phases topologiques
- Lien avec l'intrication quantique





# Information et chaos quantiques

D. Braun, K. Frahm, R. Fleckinger, B. Georgeot, O. Giraud, **D. Shepelyansky**

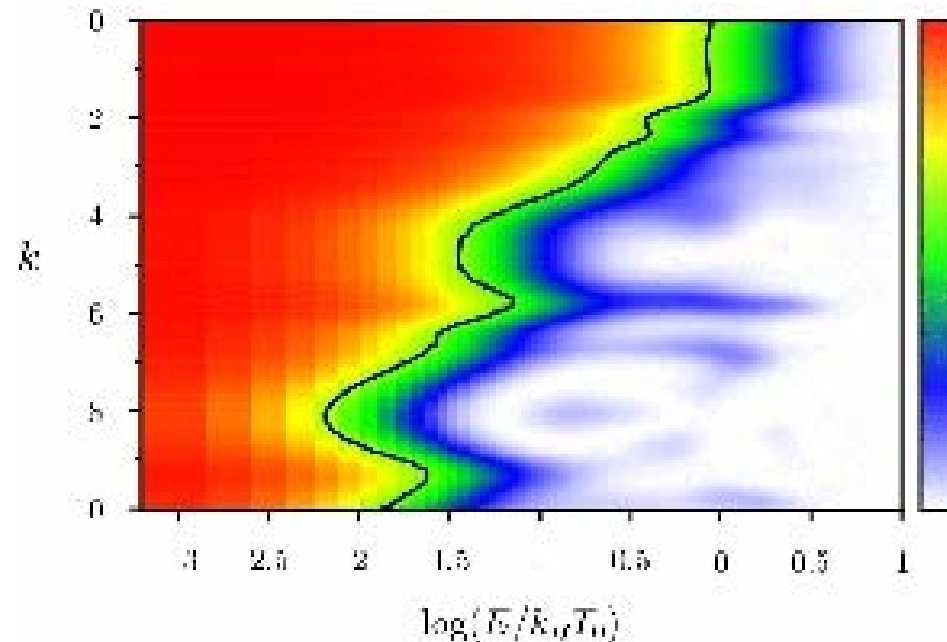
---

- Physique de l'ordinateur quantique
- Cohérence quantique
- Effets des erreurs, imperfections et décohérence sur les ordinateurs quantiques
- Nouveaux algorithmes quantiques
- Chaos quantique dans les systèmes à plusieurs corps
- Chaos quantique dans les systèmes dissipatifs

# Refroidissement de Loschmidt par renversement du temps d'ondes de matière

---

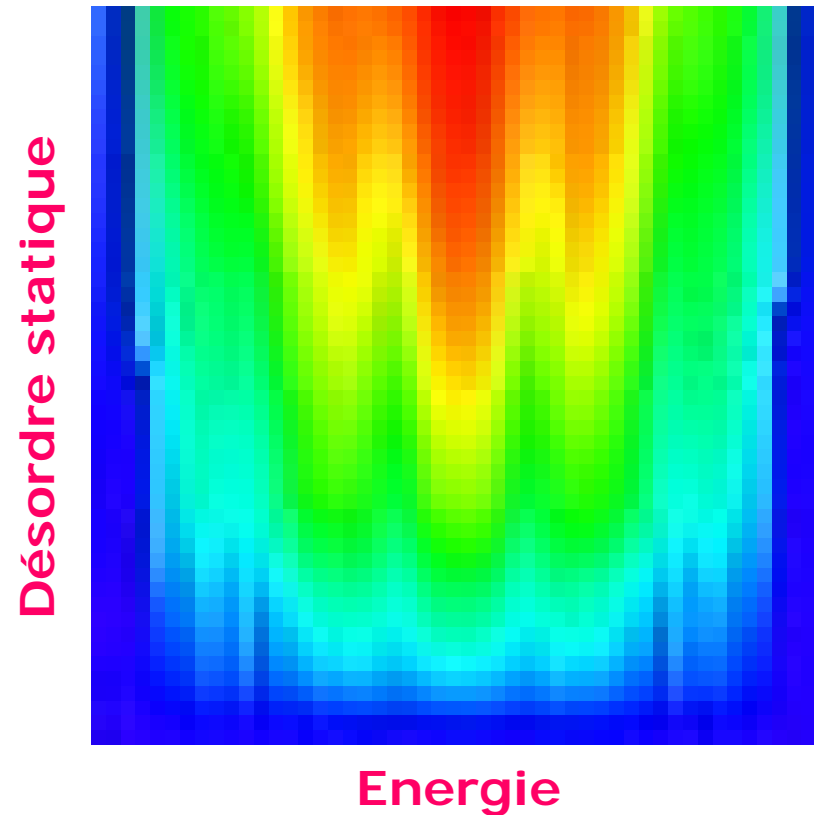
- Réalisation de la réversibilité quantique
- Méthode originale de refroidissement
- Réalisable avec les moyens expérimentaux actuels (atomes froids ; condensats de Bose Einstein)



# Calcul quantique en présence d'erreurs et d'imperfections

---

- Erreurs statiques conduisant à du chaos quantique

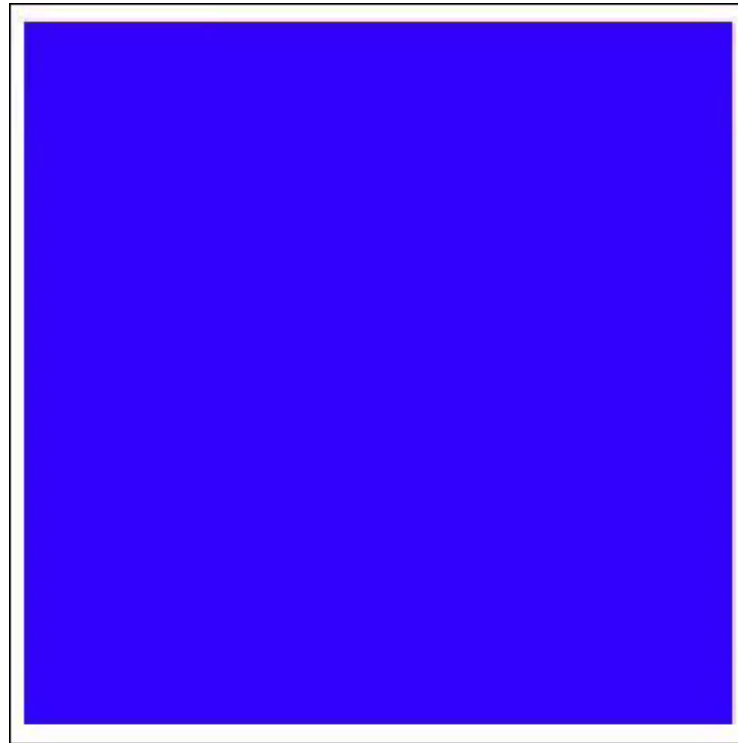




# Calcul quantique en présence d'erreurs et d'imperfections

---

- **Décohérence de la matrice densité d'un système de 4 q-bits ( $2^4=16$  états) due au couplage avec le rayonnement d'un corps noir**



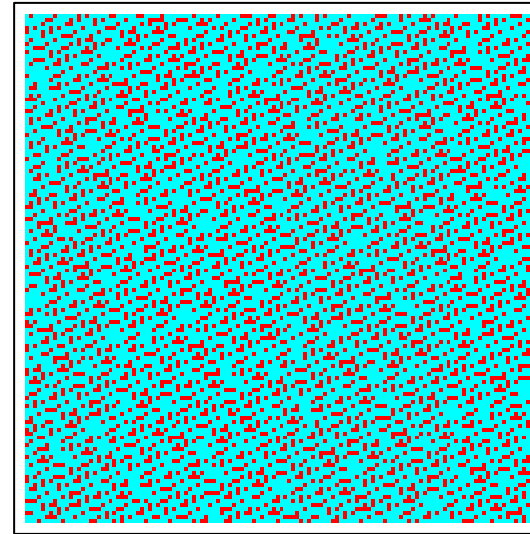
# Algorithmes quantiques

---

- Exemple: simulation de l'application du chat d'Arnold sur un ordinateur quantique

$$y' = y + x \pmod{1}$$

$$x' = y + 2x \pmod{1}$$



**16n opérations (3n q-bits) au lieu de 2<sup>2n</sup> (image 2<sup>n</sup>x2<sup>n</sup> pixels)**



# Physique Statistique

P.-H. Chavanis, **D. Dean**, N. Destainville, M. Manghi, J. Palmeri, C. Sire

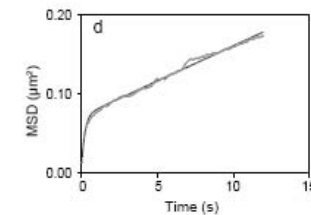
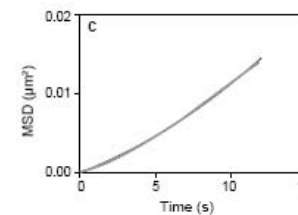
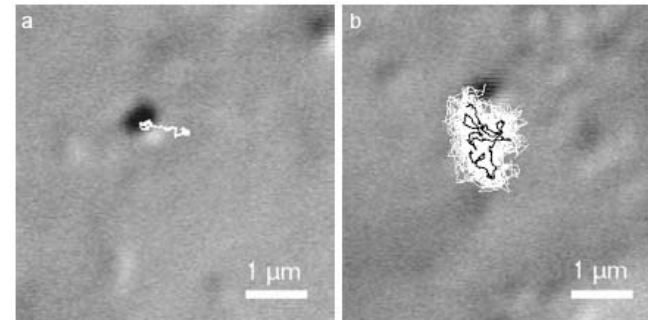
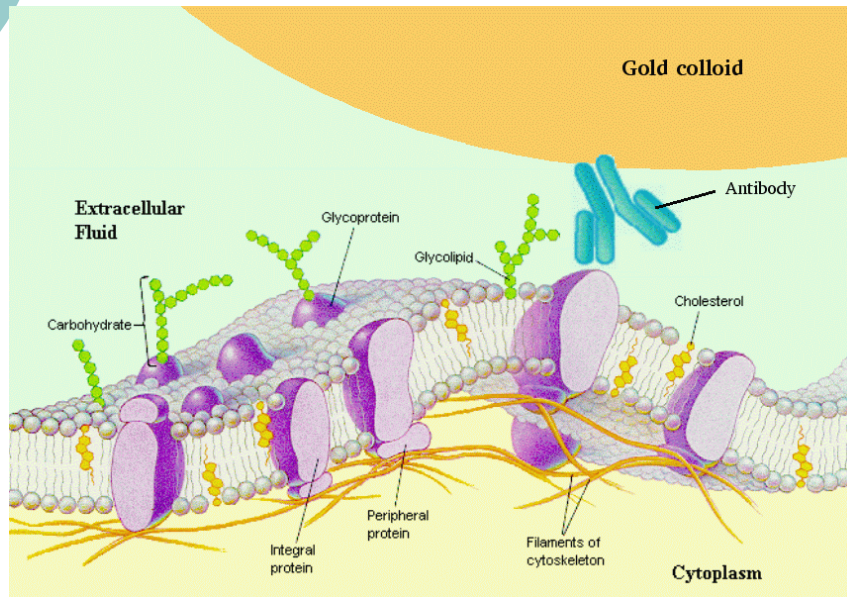
---

- Dynamique de retour à l'équilibre
- Milieux granulaires
- Physique des gaz autogravitants
- Turbulence bidimensionnelle
- Applications géophysiques et astrophysiques
- Physique statistique et biologie
- Théorie des liquides/films/polymères/membranes
- Physique des milieux poreux
- Problèmes d'optimisation et d'algorithmique
- Marcheurs aléatoires et applications
- Physique statistique exacte

# Physique statistique et biologie

## o Diffusion de protéines transmembranaires (IPBS et LMGM)

Mise en évidence d'un nouveau type de compartimentation membranaire ;  
modélisation de la diffusion



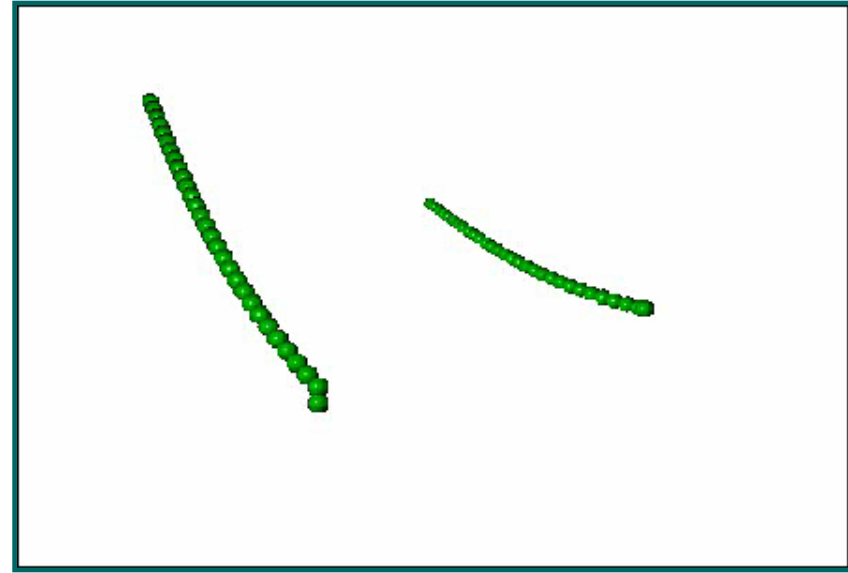
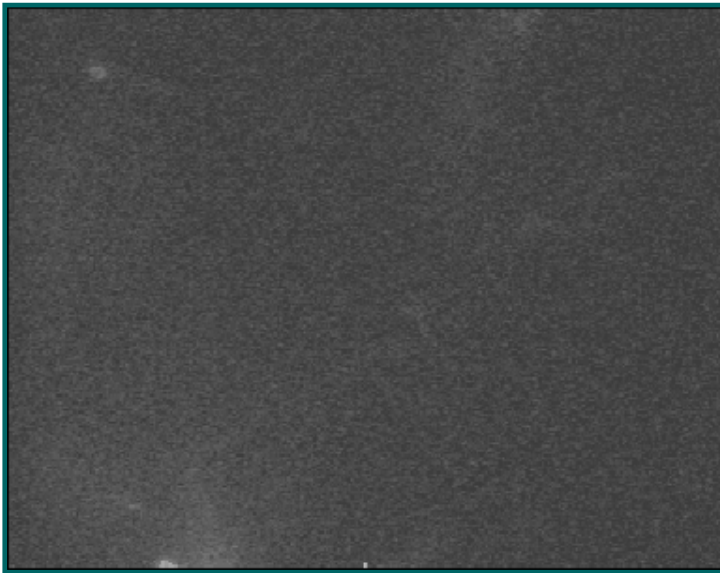
## o Dénaturation thermique de l'ADN : solution analytique d'un modèle incluant les rigidités de courbure

# Physique statistique et biologie

---

- **Etude de la bifurcation de la forme d'un filament élastique en rotation**

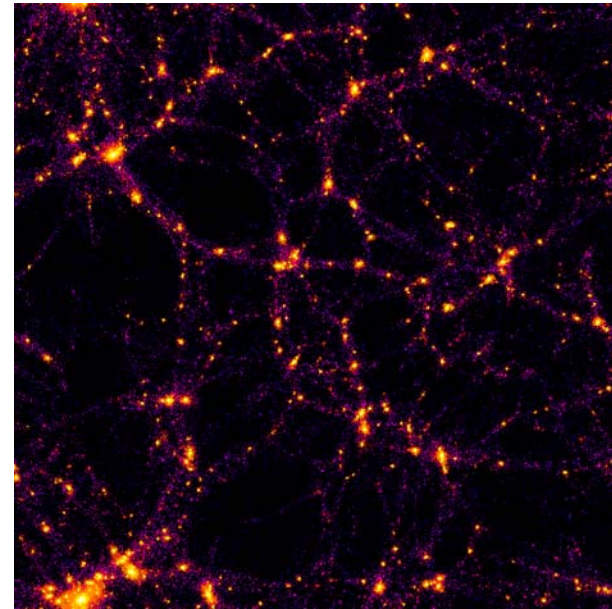
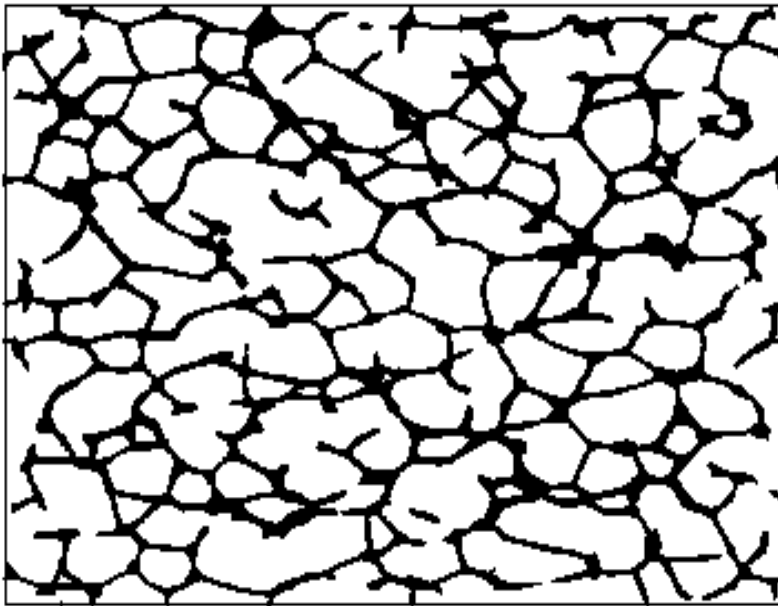
Modélisation en vue de la compréhension du mécanisme de propagation de bactéries par rotation de flagelles



# Physique statistique et biologie

---

- Liens entre chimiotaxie et la dynamique d'un gaz brownien autogravitant

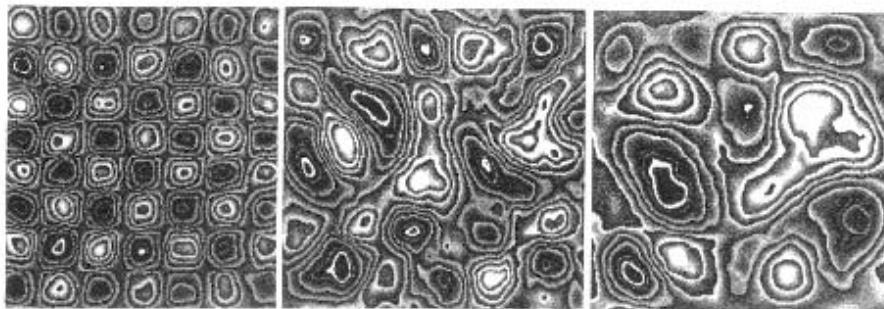


# Dynamique de retour à l'équilibre

## o Turbulence en déclin

Mise en évidence du rôle des collisions à trois vortex (dipôle + vortex)

Calcul analytique des paramètres cinétiques conduisant aux lois d'évolution de  $N(t)$  et  $r(t)$



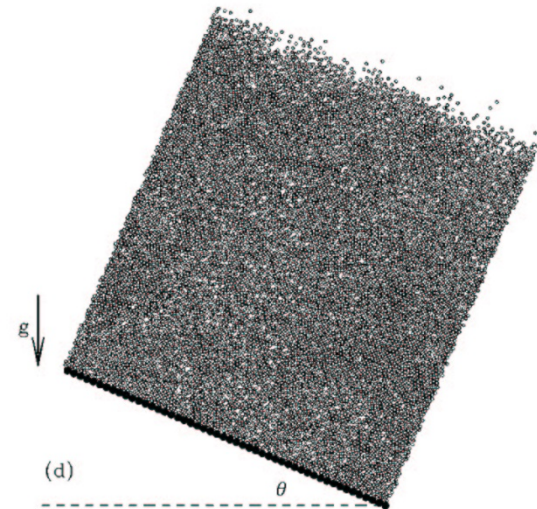
# Dynamique de retour à l'équilibre

- **Milieus granulaires et systèmes à paysage entropique complexe**

- \* Introduction et résolution exacte d'un modèle décrivant un milieu granulaire secoué par intermittence:

$$\rho(t) \sim \rho(\infty) - c/\log(t)$$

- \* Développement et étude de la thermodynamique d'Edwards



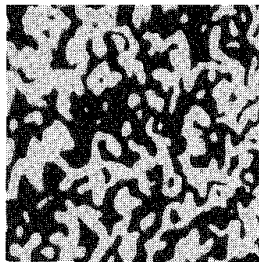
- \* Diffusion en milieu désordonné / avec des interactions : calcul de la constante de diffusion effective ; « transition vitreuse »

# Dynamique de retour à l'équilibre

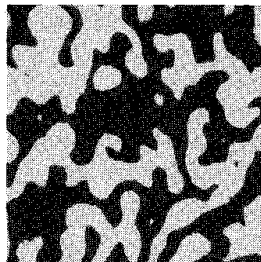
---

- **Corrélations temporelles et spatiales dans les systèmes hors d'équilibre**

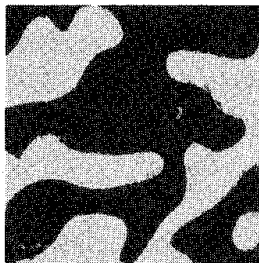
Calcul de  $\langle S(t)S(0) \rangle \sim t^{-\lambda}$  dans le cas non conservé et conservé



t = 1 sec



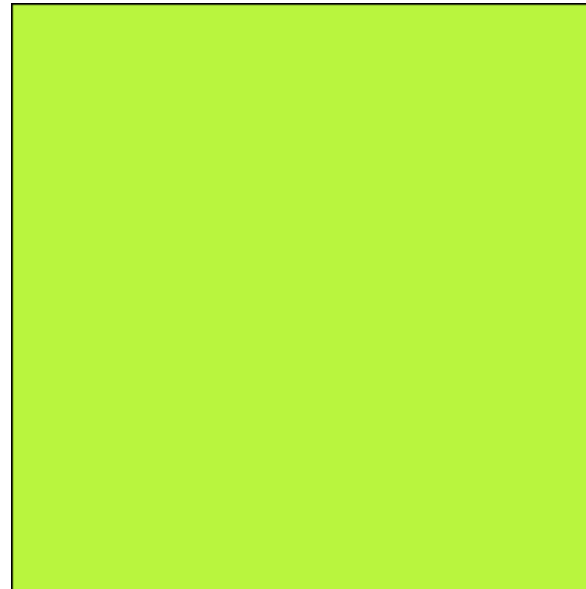
t = 3 sec



t = 20 sec

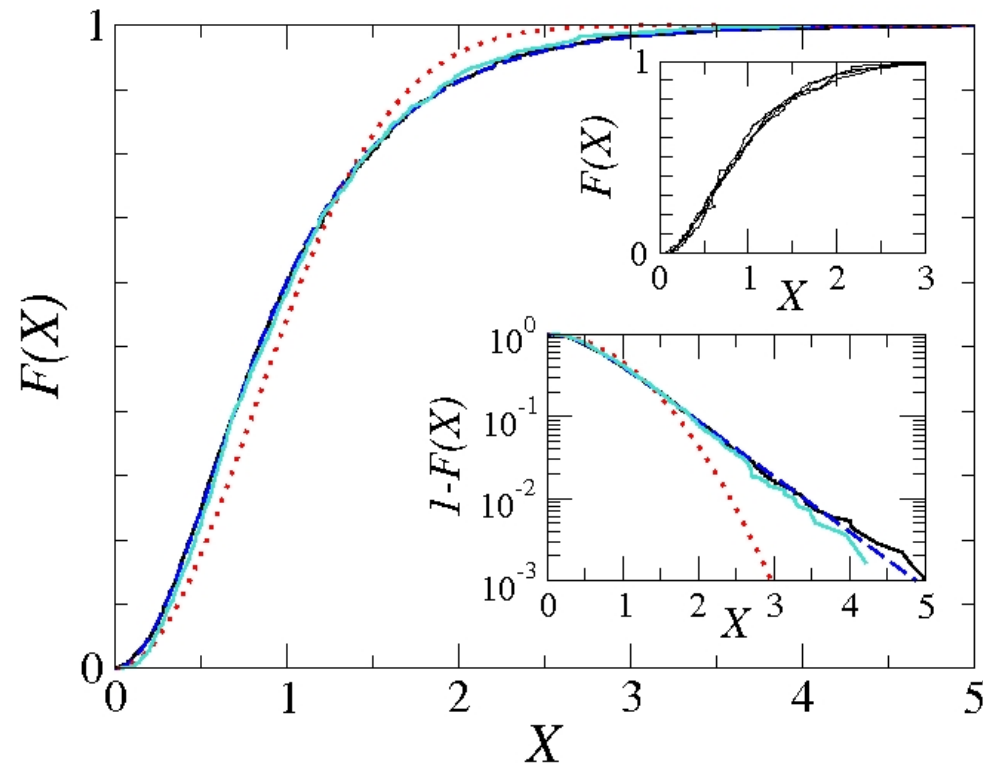


t = 100 sec



# Marcheurs aléatoires : applications

- Calcul du nombre et du spectre de matrices aléatoires gaussiennes de spectre  $>E$
- Persistance (probabilité qu'un signal reste  $>E$ )
- Statistique des nœuds d'un champ gaussien
- Physique des tournois de poker





# Systemes de fermions finis – Agrégats

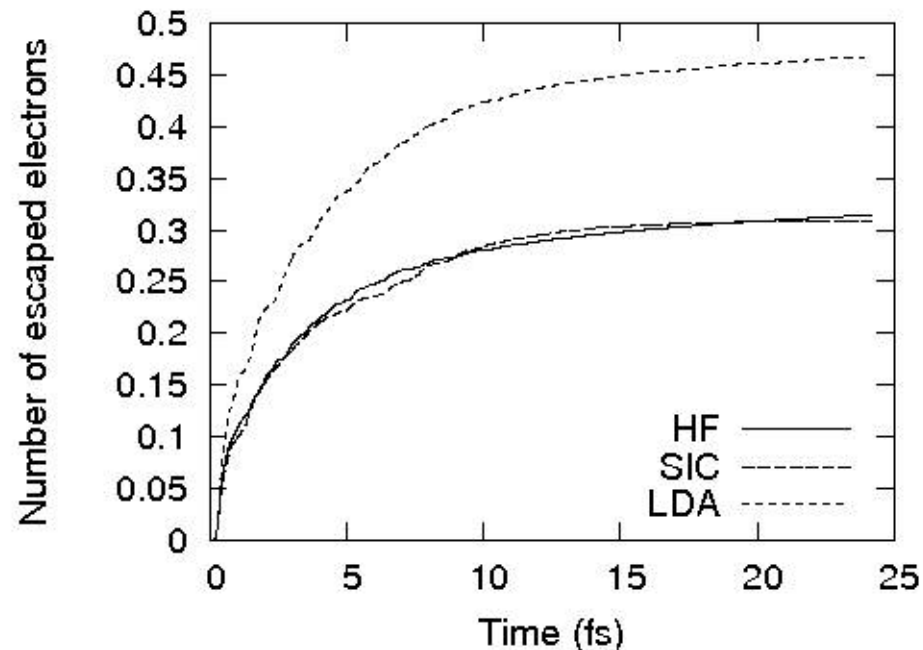
M. Belkacem, M. Dinh, E. Suraud

---

- Réponse semi-linéaire d'agrégats libres en TDDFT ; version quantique ou semi-classique
- Réponse d'agrégats en matrice à des excitations laser ou par impact ionique
- Dynamique en TDDFT du dépôt agrégats métalliques sur surfaces inertes: techniques d'ingénierie des surfaces
- Agrégats et molécules d'intérêt biologique sous irradiation laser ou impact ionique, environnement polaire
- Approches phénoménologiques type équations de taux et dynamique moléculaire pour agrégats en champs laser intense

# Correction d'auto-interaction en TDDFT

- Simulation de l'ionisation sur un cas modèle (dimère comportant deux électrons en symétrie sphérique), dans trois calculs différents: Hartree-Fock (calcul de référence), LDA et la nouvelle approche (SIC)

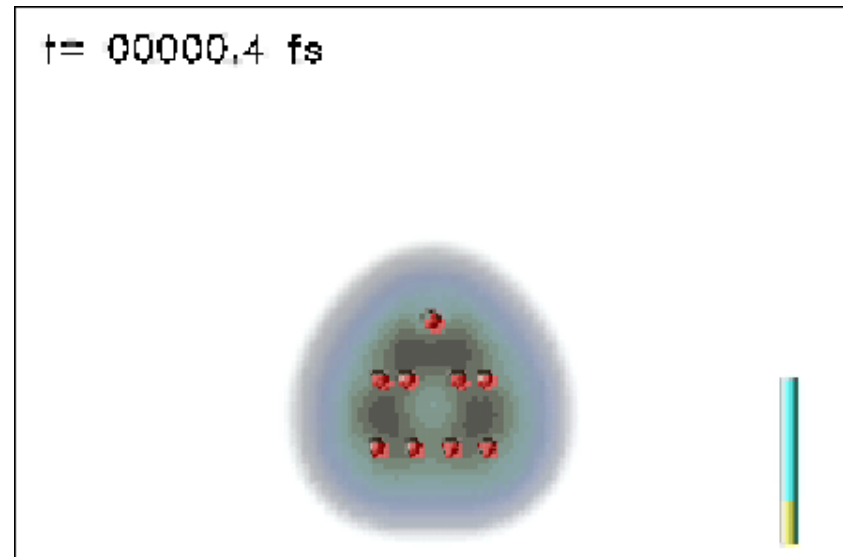


# Dynamique de systèmes de fermions finis

## Dynamique couplée et non-adiabatique des électrons de valence et des ions d'un agrégat métallique

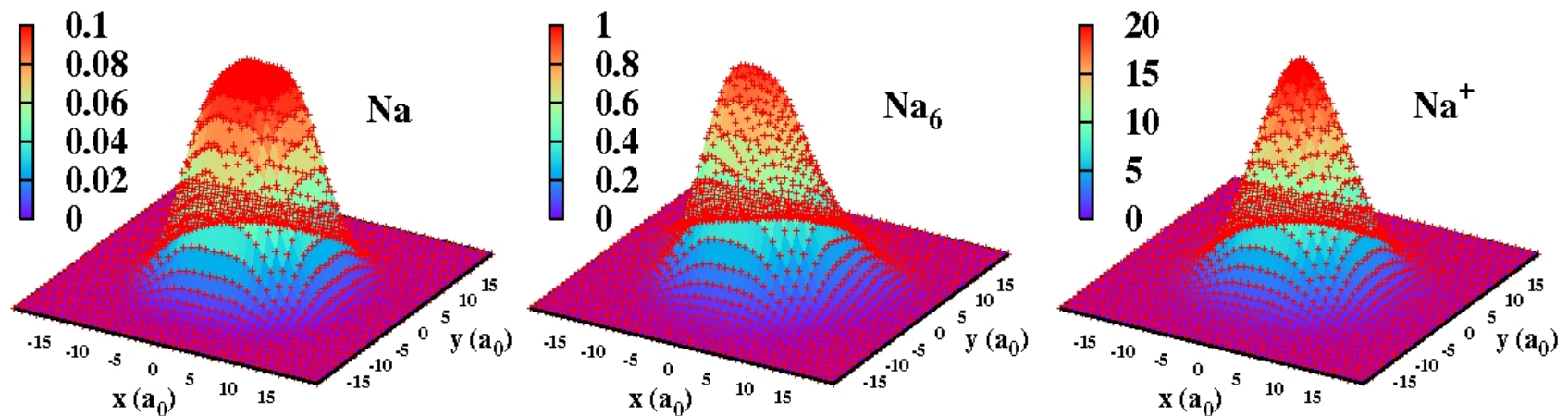
- Electrons de valence décrits quantiquement, ions (noyaux et électrons de cœur) décrits classiquement
- Exemple de  $\text{Na}^{9+}$  soumis à un champ laser modéré

$I = 5 \times 10^{11} \text{ W/cm}^2$   
FWHM = 125 fs  
 $\omega = 2.3 \text{ eV}$   
delay = 50 fs



# Agrégats en matrice

- Dépôt de Na, Na<sub>6</sub> et Na<sup>+</sup> avec une énergie cinétique initiale de 136 meV/ion



- Énergie (meV) des dipôles de la surface d'Ar au moment de l'impact
- Application : agrégats « chromophores »