

QUANTADN: transport quantique dans des molécules d'ADN

S. Lyonnais, J-L. Mergny, Muséum d'Histoire Naturelle, Paris
 O. Pietrement, E. Le Cam, Institut Gustave Roussy, Villejuif
 A.Chepelianski, M. Ferrier, S. Guéron, A. Kasumov, H. Bouchiat, Laboratoire de Physique des Solides, Orsay

Intérêt des molécules d'ADN: Physique des systèmes unidimensionnels (1D), dans lesquels l'effet des interactions électroniques et du désordre sont amplifiés. -> Propriétés de transport totalement différentes.

ADN peut être synthétisé en solutions monodisperses et manipulé (biologie)
Précédents résultats:
 Bons contacts avec des électrodes métalliques normales et supraconductrices possibles (Kasumov 2001). L'ADN peut transporter un courant électrique dans certaines conditions de préparation des molécules (Kasumov 2004). Supraconductivité induite par proximité, révélant la cohérence quantique de l'ADN sur quelques centaines de nm.

Mais: ADN toujours entouré d'un environnement complexe rendant les expériences difficiles à interpréter.
Question: l'ADN est-il intrinsèquement conducteur ou semi-conducteur dopé par les ions qui l'entourent ou par ses propres contacts métalliques?

Projet de recherche: Sonder la cohérence quantique de l'ADN et son aspect unidimensionnel

ADN dans des circuits contrôlés: Induire un véritable supercourant à travers la molécule. Puis, insérer une molécule d'ADN dans un anneau supraconducteur afin de former un squid et de mesurer directement la relation entre le supercourant induit et la phase supraconductrice contrôlée par un flux magnétique ce qui n'a encore jamais été fait pour un fil 1d. La relation courant/phase est, contrairement à une mesure de conductance, très sensible à la nature des interactions électroniques

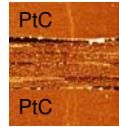
Mesures sans contacts: conductivité haute fréquence d'un nombre macroscopique de molécules d'ADN grâce à une technique résonante: phases denses d'ADN alignées ou anneaux d'ADN identiques à la base près.

Molécules sans désordre: Remplacer ADN avec séquences de bases aléatoires par molécules de G4, plus favorables au transport électronique.

Transport non linéaire en champ magnétique: Signature de l'hélicité?

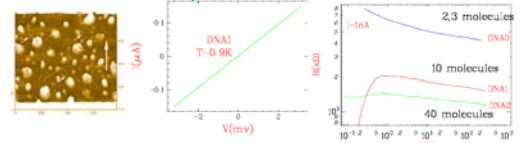
Précédents résultats

Contacts normaux



Images AFM d'ADN λ peigné au travers d'une fente isolante (Mica). Les contacts sont en PtC. (Kasumov et al. APL 2004)

Contacts: supraconducteurs ReC/ADN/ReC



100 kiloOhm par brin (300 nm)!
 Supraconductivité induite à travers des molécules d'ADN λ. Kasumov et al. Science 2001

Plusieurs voies pour l'élaboration des électrodes:

A) Lithographie électronique (avec résine...)

But: Optimiser conditions d'étalement des molécules sur substrat brut et avec circuit

Fonctionnalisation de la surface (expertise IGR)

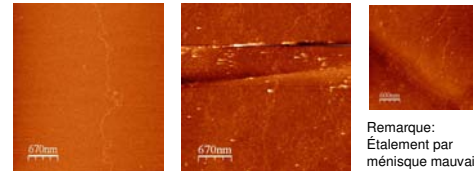


Ionisation par plasma de Pentylamine
 O. Pietrement

Problème avec utilisation de résine: résidus organiques: Nettoyage au Plasma d'oxygène

Dépôt des molécules

ADN lambda déposé avec pompe péristaltique sur substrat brut (PtC/Pentylamine sur mica)
 ADN lambda déposé avec pompe péristaltique entre électrodes (PtC/Pentylamine)



Remarque: Étalement par ménisque mauvais!

A. Chepelianski, S. Guéron, O. Pietrement

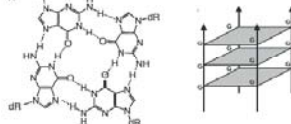
Avec quelles molécules?

A) ADN λ: 16 microns de long, séquence de bases aléatoire (« l'ADN des physiciens »)



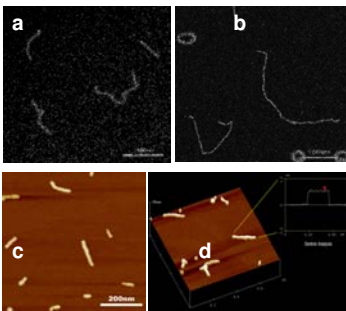
B) Molécules G4:

Bases identiques, plus robustes. Meilleure conductivité?

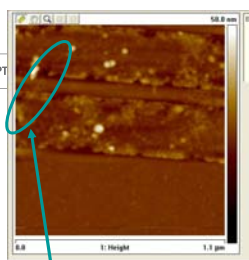


Domaine d'expertise du MNHN

Synthèse de molécules d'ADN quadruplex formées à partir de chaînes d'ADN simple-brin poly (dG)



a - b : images TEM en fond noir
 c - d : images AFM à l'air.

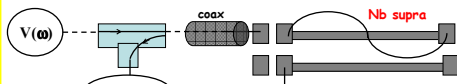


Premier quadruplex déposé entre des électrodes! (mais isolant...)

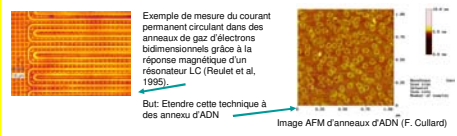
Molécules déposées sur or et Platine!
 S.Lyonnais, O.Pietrement, A.Chepelianski, S.Gueron, L.Lacroix, E.Le Cam & J.-L. Mergny,
 Functionalization of DNA G-Wires for patterning and nanofabrication. Nucleic Acids Symp Ser (Oxf), sous presse.

Vers les mesures sans contact (wifi!):

Utilisation d'un résonateur multimode couplé à de l'ADN (Orsay)



Principe : le courant dans des anneaux modifie la fréquence de résonance du résonateur. La dissipation modifie facteur de qualité.



Exemple de mesure du courant permanent circulant dans des anneaux de gaz d'électrons bidimensionnels grâce à la réponse magnétique d'un résonateur LC (Reulet et al, 1995).
 But: Etendre cette technique à des anneaux d'ADN

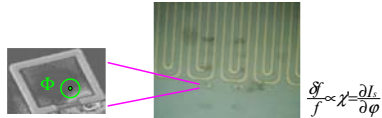
Image AFM d'anneaux d'ADN (F. Cullard)

2007-2008: Mise au point d'un résonateur supraconducteur compatible avec de forts champs magnétiques: en NbN (coll Villegier)
 Résonances visible jusqu'à des champs de 4 T (mais dégradation du facteur de qualité).

Mesures préparatoires de systèmes SNS en géométrie 1D : anneau métallique Nb/Au/Nb ou W/Au/W (S. Guéron, M. Ferrier, H. Bouchiat, thèse F. Chiodi)

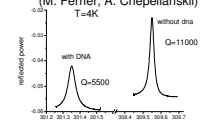
But: déduire la relation courant (phase) de la variation de fréquence de résonance d'un résonateur supraconducteur

LC resonator 300Mhz to 8 GHz

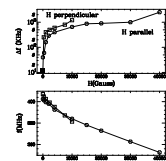


$$\frac{\delta f}{f} \propto \chi^2 \frac{\partial I_c}{\partial \phi}$$

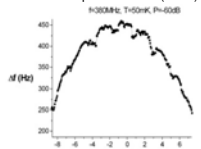
Résultats préliminaires (M. Ferrier, A. Chepelianski)



L'ajout d'1 µL d'ADN sur le résonateur divise par 2 le facteur de qualité de la résonance: dissipation induite par l'ADN. Conduction ou phase vitreuse?



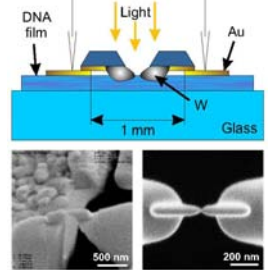
Mesures préliminaires (2008):



B) Faisceau d'ions focalisés (sans résine!)



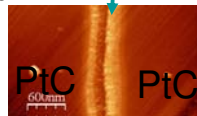
Nanocontacts avec un faisceau d'ions focalisés (A. Kasumov, coll F. Fortuna CSNSM)



Kasumov Nakamae, soumis

Avec un FIB: fabrication d'électrodes supraconductrices
 Ou bien gravure de matière

Image AFM d'une fente faite au FIB



Aucun résidu organique

Collaboration D. Klinov (Moscou) pour activation surface et dépôt molécules

Conclusion

Conduction de l'ADN:

- Très dépendant de son environnement physico-chimique
- Nécessité de développer des stratégies diversifiées
- Nécessité de définir précisément les paramètres pertinents