« Les salles propres : de l'installation à l'utilisation, de la théorie à la pratique – Usages et retours d'expériences »

Installation et mise en œuvre de salles propres de grandes superficies dans le domaine de la microélectronique :

Retour d'expérience du Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes

Hugues Granier, Responsable de la salle blanche, LAAS-CNRS

PLAN DE LA PRESENTATION

- Le LAAS , sa salle blanche et ses applications

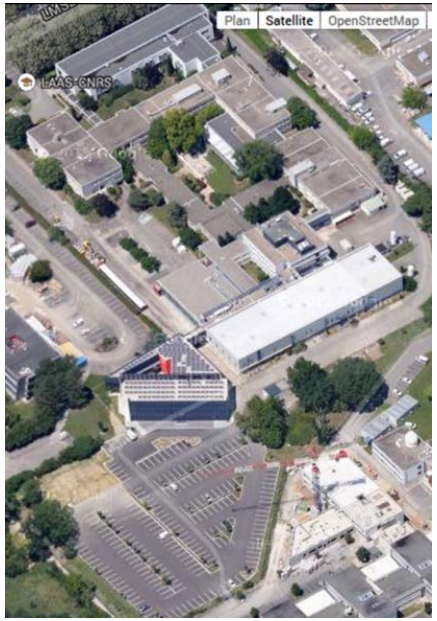
- Pourquoi une salle blanche ?

- Comment lutter contre les contaminations?

Le LAAS , sa salle blanche et ses applications

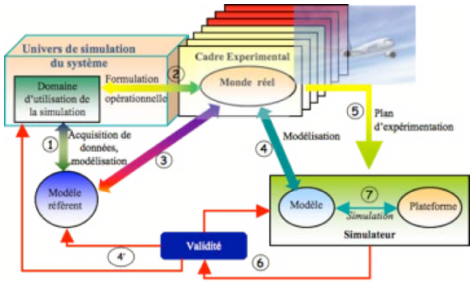
Le LAAS

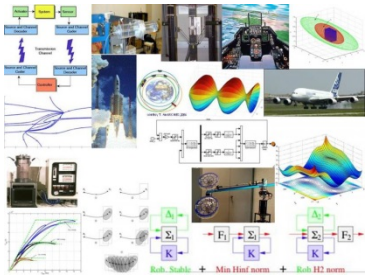
- LAAS [(https://www.laas.fr/public/fr)](https://www.laas.fr/public/fr)
  - UPR 8001 (bi-rattachement INSII/INSIS)
  - 20 922 m²
  - 636 personnes au 31/12/2016



- Budget opérationnel : environ 13 M€

- 4 domaines de recherche
  - Robotique
  - Informatique
  - Automatique
  - Micro et nano systèmes





La salle blanche

- Plateforme ouverte
  - (http://www.cnrs.fr/cnrs-images/multimedia/laas/360/01_sas.html)
  - Membre du réseau national Renatech
  - 2526,72 m² dont 1500 m² de salle propre (classes 100 et 10000)
  - Service technique de 36 IT

- 180-200 utilisateurs « présents »

- Budget opérationnel moyen : 1,4 M€
  - Hors investissements
  - Hors personnel

- 35 M€ d'équipements équivalent neuf

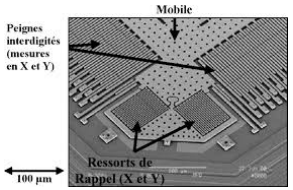
- Nous avons une obligation « fonctionnelle » d'être en salle blanche pas encore d'obligation « contractuelle » du fait de partenariats ou de participation à des projets.

QUE FAIT ON DANS CETTE SALLE BLANCHE?

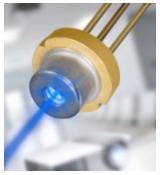
- Des micro (millionième de mètre) et nano (milliardième de mètre)composants (puces)

- Micro nano électronique
  - On utilise/maitrise le courant électrique pour créer une fonction
  - Exemple grand public : les microprocesseurs de ordinateurs

- Micro systèmes
  - On convertit une grandeur physique ou chimique en courant électrique pour créer une fonction
  - Exemple grand public: les accéléromètres qui déclenchent les airbags ou dans les manettes de consoles de jeux vidéos

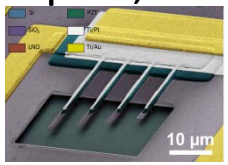


- Photoniques
  - On utilise/maitrise la lumière pour créer une fonction
  - Exemple : grand public diodes lasers à semi-conducteurs dans les têtes de gravure des lecteurs DVD.

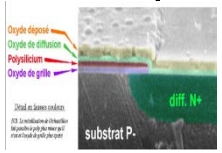


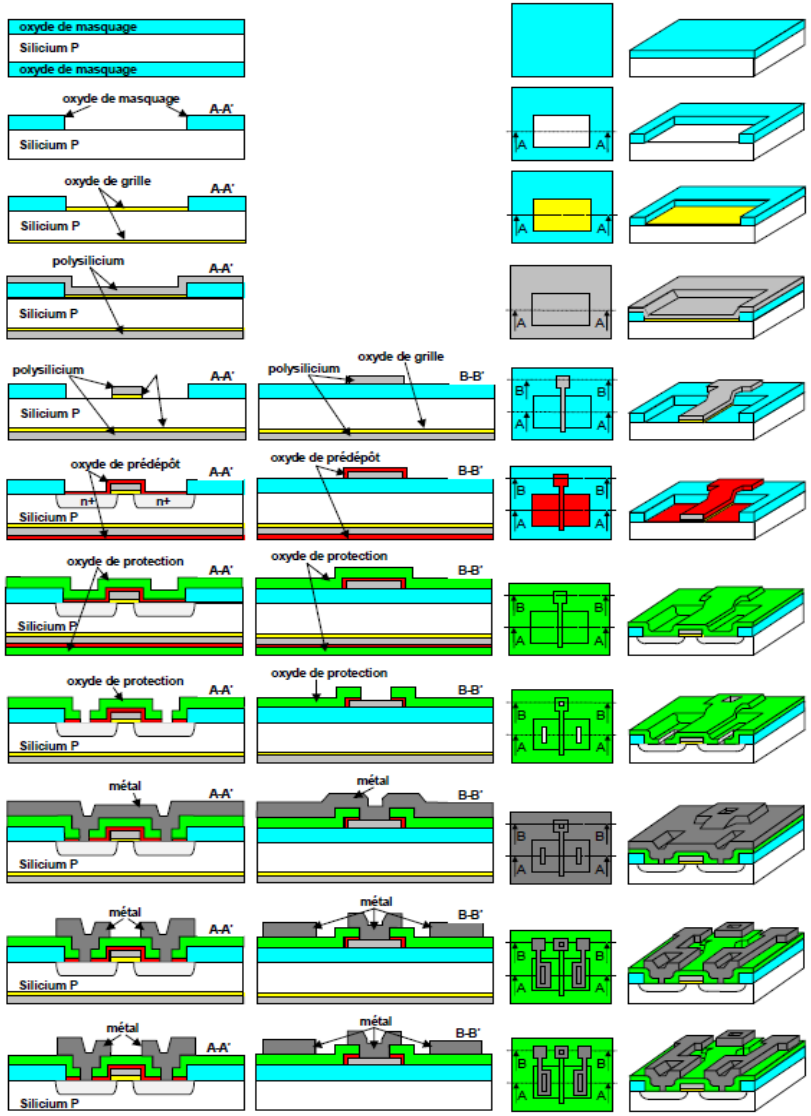
COMMENT FAIT ON LES COMPOSANTS ?

- Par un empilement de couches de différents matériaux
  - Choisis en fonction de leurs propriétés physiques, chimiques, électriques, optiques, biologiques,…



  - Chaque couche (une couleur dans le schéma) est
    - Élaborée/déposée (crée)
    - Structurée/intégrée (mise en forme)
    - Caractérisée (mesurée)
  - Les différentes couches doivent être alignées avec une précision micronique ou nanométrique l'une par rapport à l'autre





LES TECHNOLOGIES POUR FAIRE CES COMPOSANTS ?

ÉLABORATION

- Traitement thermique
- CVD / ALD
- Implantation ionique
- MBE

MISE EN FORME

- Nanoimpression
- Gravure
- Lithographie
- Jet d'encre
- Sérigraphie

INTÉGRATION

- Montage de composants
- Wafer level packaging
- Intégration hétérogène

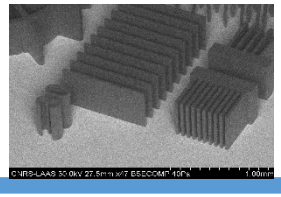
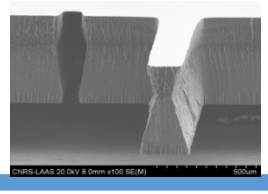
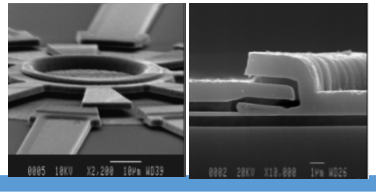
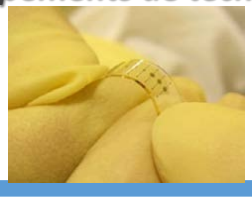
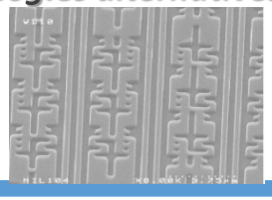
- Électrodéposition
- PVD

Chimie / Traitement de surface

CARACTÉRISATION

– Total de 35 M€ d'équipements
– Flexibilité: Manuels / Semi-automatique / automatique

–Technologies Si, III-V, polymères…
– Substrats Si 4" (extensible à 6 ")
– Développements de technologies alternatives

Pourquoi une salle blanche ?

Car il faut maitriser et contrôler…….

Car il faut travailler en sécurité

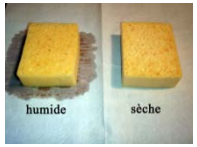
……Pour maitriser les couts

CAR IL FAUT MAITRISER ET CONTRÔLER

- Empoussièrement

  - Pourquoi ? : des poussières trop grosses et/ou trop nombreuses
  - Analogie
    - Rail=pistes électriques
    - Rocher = court circuit

- L'humidité



  - Pourquoi ? : certains matériaux changent de comportement
  - Analogie :
    - Éponge sèche ou humide

- La température

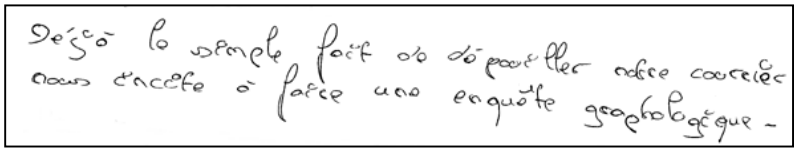
  - Pourquoi? : certains matériaux changent de comportement
  - Analogie
    - Caramel mou ou dur

- Lumière
  - Pourquoi? : certains matériaux sensibles aux UV

  - Analogie :
    - Chambre noire des photographes

CAR IL FAUT MAITRISER ET CONTRÔLER

- Toutes les perturbations créées par l'infrastructure
  - Vibrations
  - Flux d'air
  - Perturbations électromagnétiques
  - Etc….
  - Pourquoi ? : afin de ne pas perturber le fonctionnement des machines
  - Analogie
    - Ecriture numérique et écriture tremblée



Déjà le simple fait de dépouiller notre courrier nous incite à faire une enquête graphologique

CAR IL FAUT TRAVAILLER EN SÉCURITÉ

- Il existe de nombreux risques pour les utilisateurs
  - Produits chimiques liquides , vapeurs ou solides
  - Radioactivité
  - Produits biologiques pathogènes

  - Il faut donc des systèmes de protection
    - Individuels
      - Par la formation préalable et l'information continue
      - Des équipements individuels
    - Collectifs
      - La structure même de la salle
      - Des équipements adaptés
      - Des systèmes de détection et d'alerte
      - Des procédures précises de travail et d'urgence

POUR MAITRISER LES COUTS

- Chaque opération coute au travers
  - Des ressources humaines (salaires)
  - Des ressources techniques
    - Machines (achat, maintenance)
    - Infrastructure (construction, maintenance, adaptation)
  - Des consommables
    - Nécessaires à la fabrication

- Les processus peuvent être très longs
  - Plusieurs semaines, voire plusieurs mois
  - Si une opération est mauvaise tout peut être à jeter

- Le budget de fonctionnement (hors salaire, équipement, construction) est de 1,4 M€/an
  - Dont environ 100 k€ en lien direct contre les contaminations (tenues, nettoyages, etc..)

- Les contaminations ne doivent pas être la cause d'échecs !

Comment lutter contre les contaminations?

Quelques unes de nos problematiques

- Une partie conséquente des utilisateurs
  - Non spécialistes initialement
  - Fort turn over
  - Des communautés diverses
    - Micro technologies
    - Physique
    - Chimie
    - Biologie
    - Industriels
- Des technologies pas toujours compatibles et qui doivent cohabiter
- Lutte contre les contaminations et sécurité fortement liés

LUTTER CONTRE LES CONTAMINATIONS PARTICULAIRES

- Par l'infrastructure en isolant les parties propres et en utilisant des matériaux adaptés

[(http://www.cnrs.fr/cnrs-images/multimedia/laas/360/01_sas.html)](http://www.cnrs.fr/cnrs-images/multimedia/laas/360/01_sas.html)

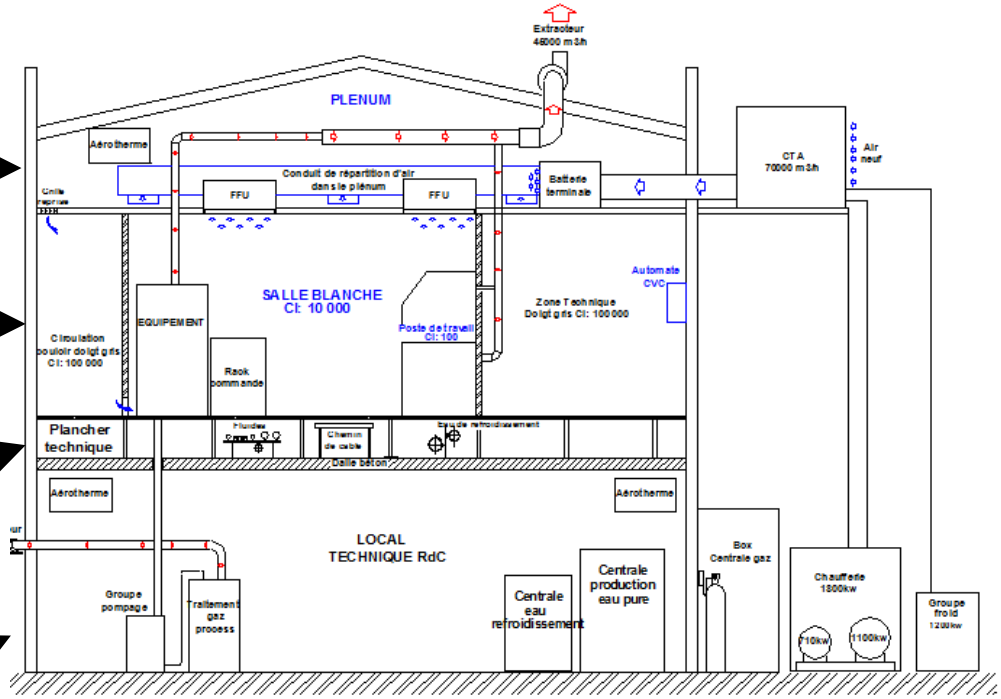
4 niveaux

4 : Plenum

3 : Salle blanche

2 : Circulation des fluides

1 : Equipements de soutien



Stock gaz

Stock chimie

Groupes de pompages
Plus de 100

Production
- eau DI
- Air sec
- Vide process

Boucles de refroidissement

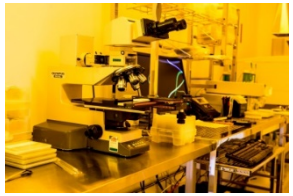
Traitement des effluents

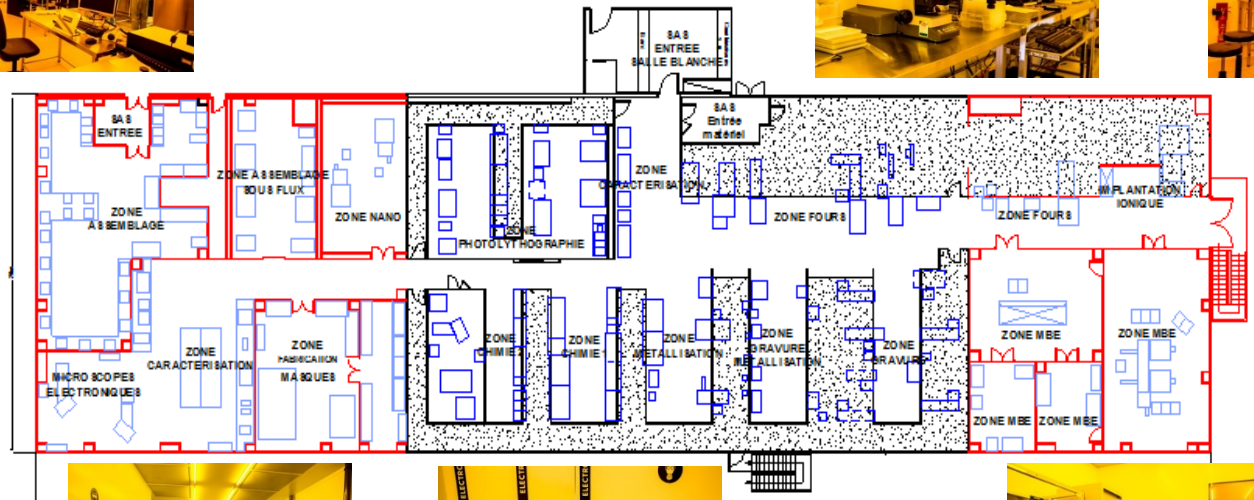
Distribution des fluides

Azote

LUTTER CONTRE LES CONTAMINATIONS PARTICULAIRES

- Par l'infrastructure

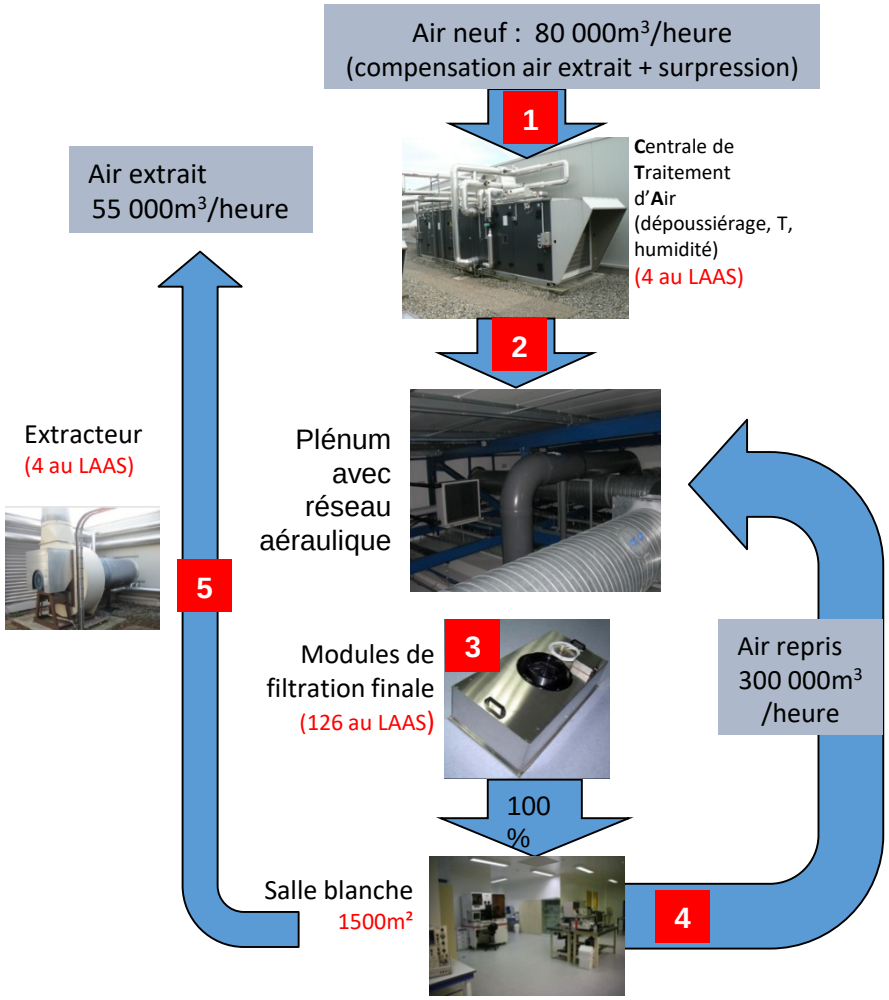


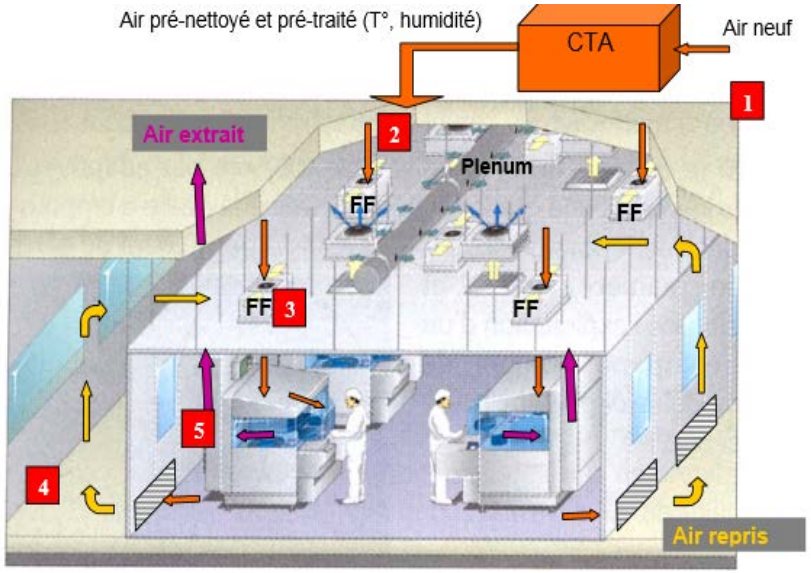


- Le cloisonnement permet de gérer plus facilement
  - l'escalade des surpressions, et les conditions locales (T°, humidité)
  - les zones inactiniques

Lutter contre les contaminations particulaires

- Par le cycle du traitement d'air



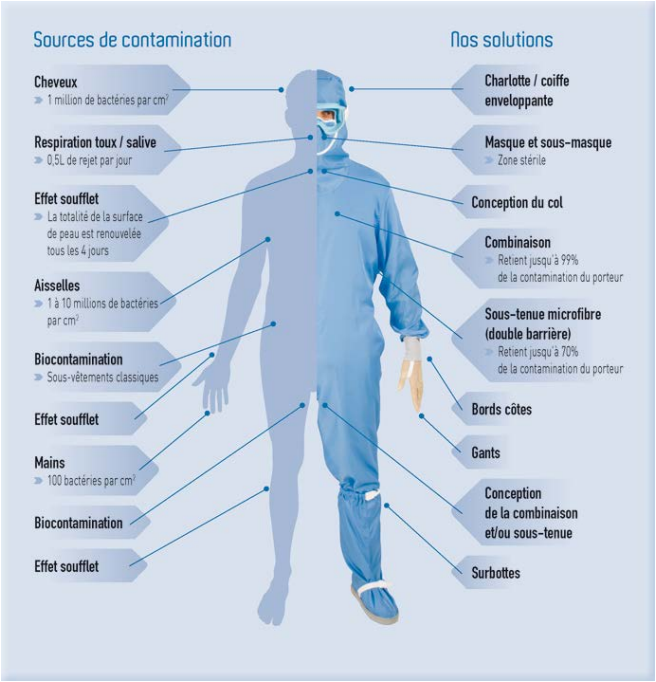


- **Le traitement de l'air permet aussi de maitriser là où c'est nécessaire**
  - L'humidité
  - La température

Une GTC à venir pour piloter et suivre les installations

Lutter contre les contaminations particulaires

- Par la gestion tout ce(ux) qui entre(nt) en salle blanche
  - Les opérateurs
  - Les équipements
  - Les consommables
  - L'air extérieur



- Operateurs
  - Tenues adaptées
    - Combinaison
    - Gants
    - Charlotte
  - Procédure d'habillage, déshabillage
    - Dans un sas dans un ordre très précis

  - Comportements adaptés
    - Mouvements lents
    - Pas d'attroupements
    - Pas de maquillage
    - Pas de boisson ni de nourriture
    - ….

Les actions de chacun ont un impact sur le fonctionnement et les résultats

Lutter contre les contaminations particulaires

- Par la gestion tout ce(ux) qui entre(nt) en salle blanche
  - Décontamination systématique
    - Sas d'introduction adaptés à la taille des équipements
    - Essuyage avec solutions adaptées
    - Sommaire à l'extérieur
    - Poussée une fois dans le sas
  - Gestion des consommables et fournitures
    - Par le service technique
    - Délivrés sur demandes (demande en ligne)
  - Définir et diffuser des protocoles de travail très précis
    - Règles de fonctionnement
    - Charte
    - Formations systématique avant l'entrée
    - Divers protocoles
  - Formation systématique des utilisateurs
  - Toutes informations sur intranet et livret d'accueil

LUTTER CONTRE LES CONTAMINATIONS LIÉES A L'INFRASTRUCTURE

- Vibrations
  - Machines montées sur systèmes d'amortissement
    - Tables à coussins d'air actives po passives
    - Socle isolé du reste du bâtiment par un pieu enfoncé directement dans le sol naturel et sans contact avec le sol de la pièces
  - Comportement des personnels
    - Déplacements lents et pas en groupes

- Vibrations et perturbations électromagnétiques
  - Eloigner au maximum tout les sources de contaminations
    - Pompes et moteurs
    - Traitement de l'air
    - Générateurs de courants
    - Etc…
  - Adapter l'infrastructure
    - Cages de Faraday
  - Anticiper toutes les pollutions annexes
    - Travaux
    - Environnement proche ou éloigné
    - ….

LUTTER CONTRE LES CONTAMINATIONS PAR L'ORGANISATION

- Nettoyage quotidien par entreprise spécialisée

- Gestion des chantiers dans CCP
  - chapitre spécifique sur méthodologies de travail
  - obligation de mise à blanc finale (mesures contradictoires)

- Relevés et publication (pour quiétude des utilisateurs)
  - Des comptages particulaires
  - Des mesures de COV

- Expertise extérieure des installations pour contrôle et actions d'amélioration (à mettre en lien avec la sécurité)
  - Hottes et sorbonnes
  - Pollution acoustique
  - Pollution RF

LUTTER CONTRE LES CONTAMINATIONS PAR L'ORGANISATION

- Identifier les domaines technologiques non compatibles afin d'éviter les contaminations croisées
  - Zones chimies spécifiques
    - Dans notre cas quatre zones MOS, MEMS, III-V et intégration
    - Matériel de manipulation non individuel, qui reste dans la zone spécifique
    - Protocoles de manipulation des substrats
    - Identification des substrats par la couleur des boites
    - Equipement dédié à la mesure/analyse de dégazage
  - Équipements identifiés
    - MOS ou NOMOS
    - Identification sur équipements
    - Pour équipements partagés protocoles de décontamination pour changement NOMOS à MOS

LUTTER CONTRE LES CONTAMINATIONS PAR L'ORGANISATION

- Responsabilisation de tous les acteurs
  - Formation initiale
    - Evolution à venir avec MOOC et validation des compétences
  - Participation aux « heures soleil »
    - Hebdomadaires
    - pour nettoyage et réapprovisionnement
  - Rangement régulier avec évacuation des consommables non identifiés
  - Déclaration des produits avant introduction pour validation
    - Application en ligne

- Gestion dématérialisée des activités
  - Pour minimiser les supports physiques en salle blanche
  - Application en ligne de gestion des activités qui fera bientôt le relevé des opérations

Merci de votre attention

N’hésitez pas à échanger/poser des questions à partir de vos expériences