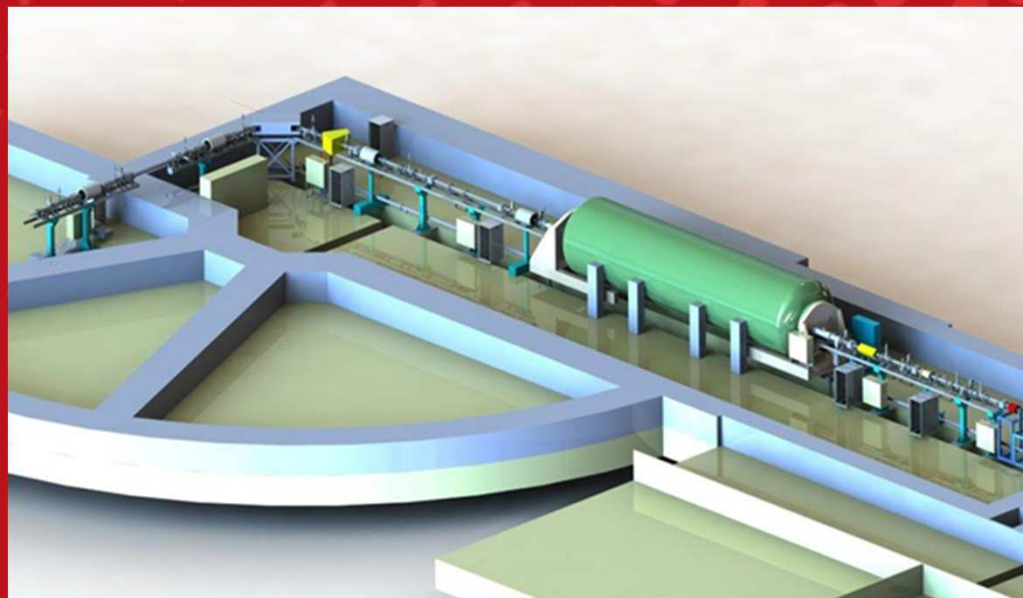


Modifications apportées et futures évolutions de l'accélérateur électrostatique TANDEM du CEA de Bruyères le Châtel



DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE



03 octobre 2019

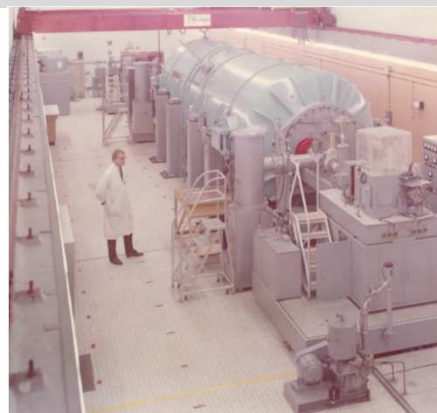
M. OSMOND et C. VARIGNON (CEA DAM/DIF)

- ▶ **Historique**
- ▶ **Evolutions apportées de 2011 à 2014**
- ▶ **Futures évolutions de l'accélérateur 2019 – 2020 et plus**

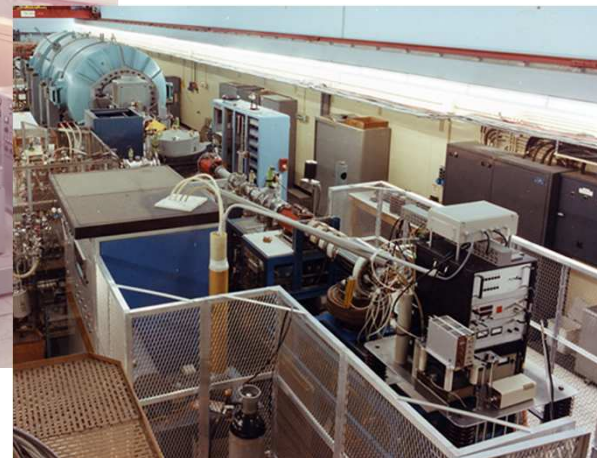
► 2 accélérateurs électrostatiques

- VdG 7 MV HVEE Model EN tandem installé en 1964
 - Source IBA : ^1H , ^2H (4 à 14 MeV),
 - Source ALPHATROSS : ^3He , ^4He (2 à 21 MeV),
 - Source ICONEX 860 : ions lourds (B, C, F, P, S, Ni, Cu, ...I, Au)
 - 7 lignes de faisceau et 4 salles d'expérience
 - Système de pulsation

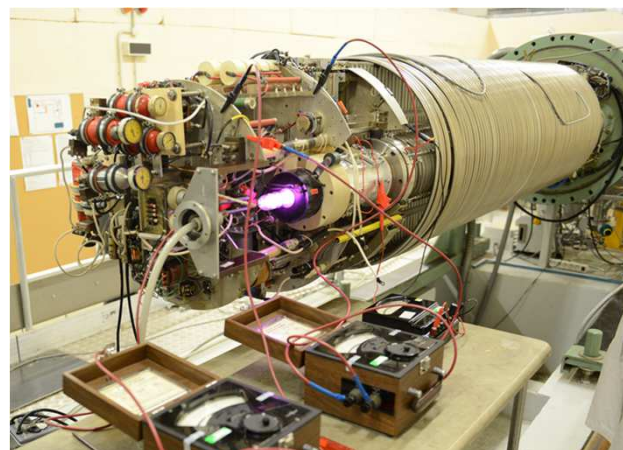
- VdG 4 MV HVEE modèle KN installé en 1972
 - Source RF : ^1H , ^2H , ^4He (500 keV à 4 MeV)
 - 5 lignes de faisceau et 2 salles d'expérience
 - Système de pulsation



TANDEM – 1965



TANDEM avant arrêt en 2007



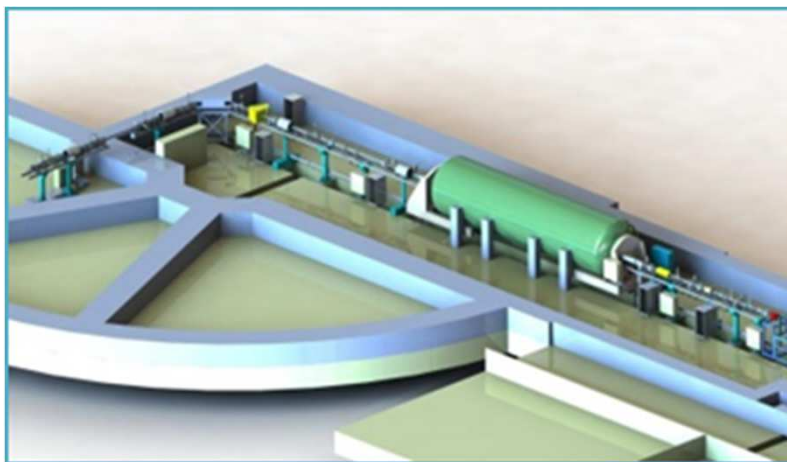
VdG 4 MV

► Arrêt du VdG 7 MV en décembre 2007 pour raisons techniques

ARRÊT DE L'ACCÉLÉRATEUR EN 2007

PROJET DE REDÉMARRAGE EN 2011

- Objectif : réaménager une ligne de faisceau dans une salle d'expérience afin de produire des neutrons plus énergétiques et à plus fort flux que ceux disponibles sur l'accélérateur 4 MV pour les expériences de physique nucléaire



Projet de réaménagement d'une ligne de faisceau dans une salle d'expérience



Basse énergie à réaménager



Haute énergie à réaménager

SOURCE UNIQUE

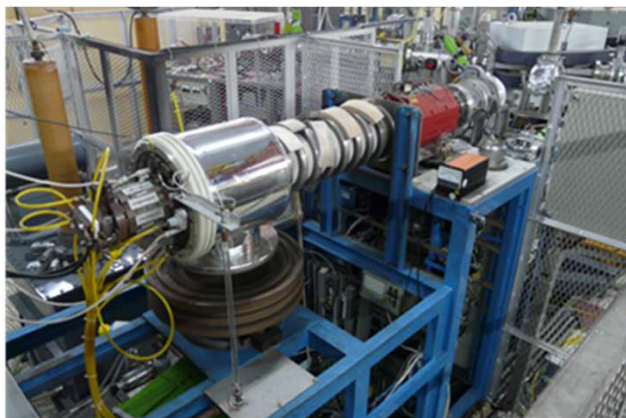
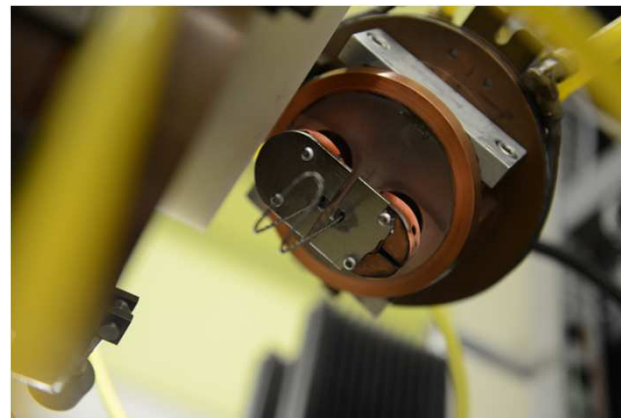
- Remise en fonctionnement de l'ancienne source IBA (installée en 1995) pour produire des faisceaux de protons et de deutons

Principe Source IBA (Source à décharge)

- injection d'un gaz (proton ou deuton) au niveau de la tête de source
- ionisation par une décharge électrique délivrée au travers d'un filament en tungstène
- création d'ions négatifs extraits par la suite par une différence de potentiels entre 3 électrodes
- accélération de ce faisceau d'ions jusqu'à 90 keV par un petit tube accélérateur.

Révision complète de la source,

- remplacement des isolants,
- recâblage du système d'alimentation électrique et du fluide de refroidissement
- remplacement du système de pompage

*Source IBA**Filament en Tungstène*

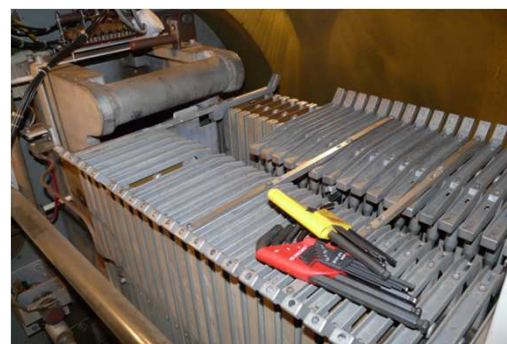
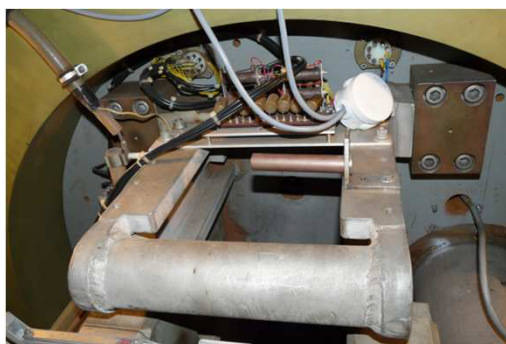
MODIFICATIONS APPORTÉES À L'INTÉRIEUR DU TANK

► Modification du système de montée des charges
anciennement effectué par une courroie

- Remplacé par deux chaînes Pelletron fournies par la société américaine NEC (150 μ A/chaîne)



Avant



Après

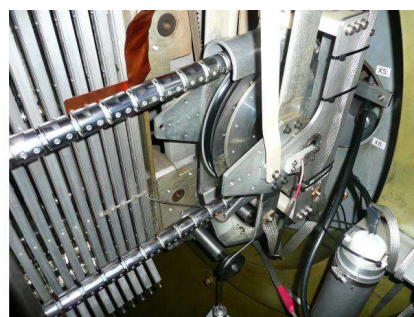


Moteur

Courroie moteur

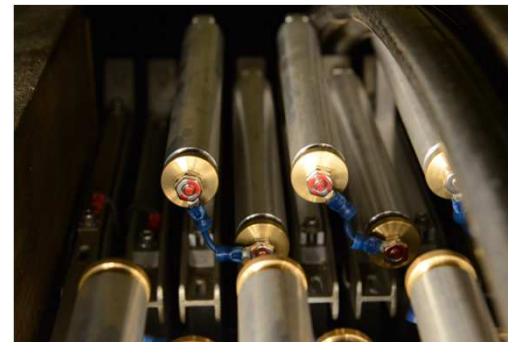
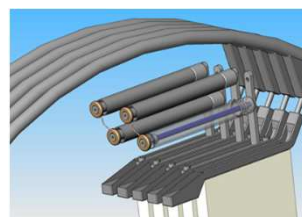
Plateforme

Système de balancier



MODIFICATIONS APPORTÉES À L'INTÉRIEUR DU TANK

- Changement des résistances de répartition du potentiel sur le tube accélérateur par de nouvelles résistances redimensionnées en fonction du pelletron



Avant (position verticale)

Après (position horizontale)

- Rénovation du stripper solide à feuilles de carbone de $10 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ d'épaisseur (96 feuilles x 3 étages)



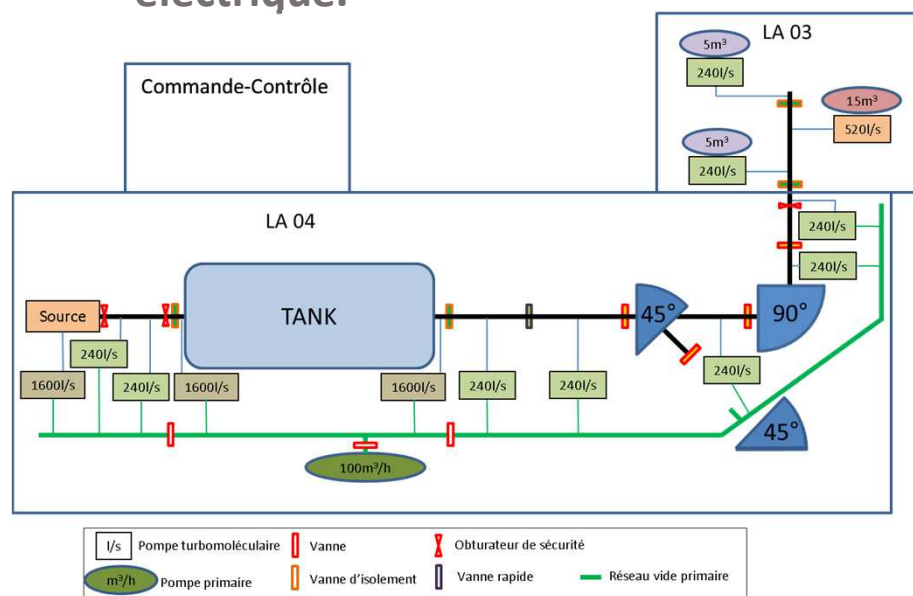
Support feuilles de carbone



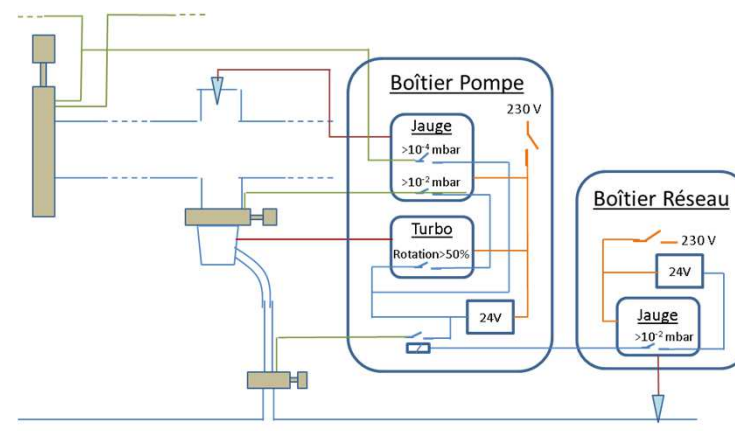
Stripper – barillet de 96 supports

GESTION DU VIDE (disparition de la gestion déchet de dizaines de pompes primaires)

- Installation d'une colonne de distribution de vide primaire alimentée par une unique pompe primaire de fort débit (auquel est ajouté une pompe de secours).
- Installation d'un système autonome de gestion du pompage turbo moléculaire permettant la remise automatique sous vide de la machine en cas de coupure électrique.



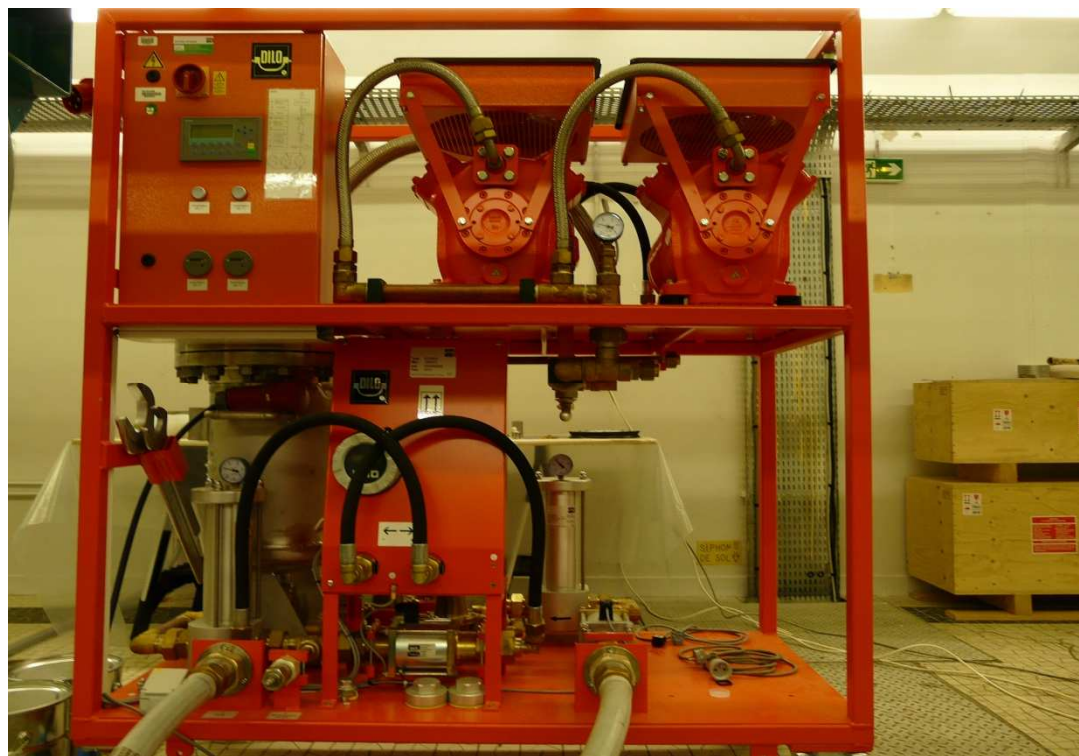
Distribution du vide primaire



Gestion autonome du pompage permettant la remise sous vide en automatique

GAZ ISOLANT → 100% SF₆

- ▶ Mélange CO₂/N₂/SF₆ → 100% SF₆ → Réduction de la pression à 8 bars
- ▶ Installation d'un circulateur DILO® pour faire circuler le SF₆ à l'intérieur du tank pour améliorer la tenue aux claquages et ainsi faciliter la montée en tension

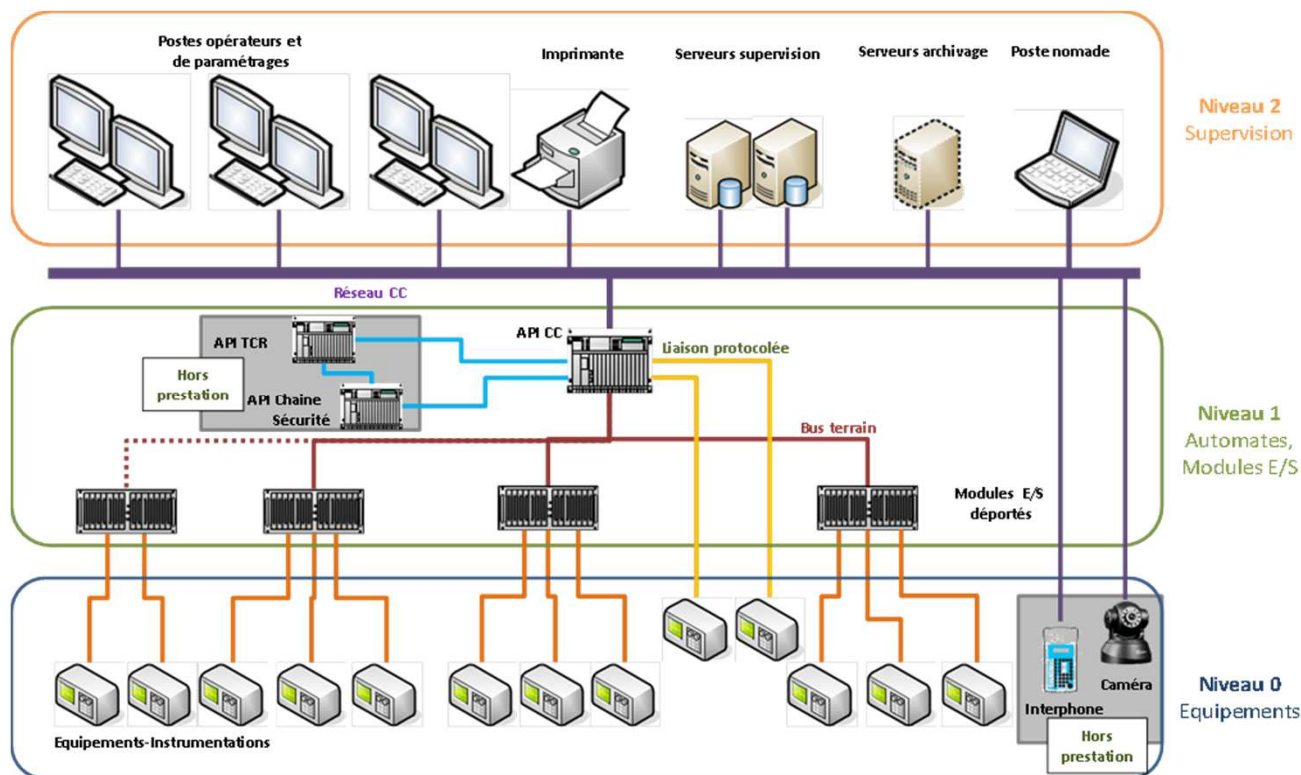


Circulateur DILO®

CRÉATION D'UN CONTRÔLE COMMANDE

► Installation des éléments d'automatismes

- Architecture matérielle



- E/S Advantys STB (cartes E/S TOR ou E/S analogiques actuellement 10 bits)

► Supervision PANORAMA E2 développée initialement sous version 5

► **Le contrôle commande permet de piloter**

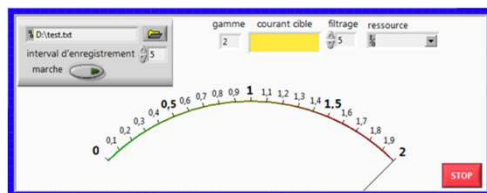
- la source IBA
- pilotage du pelletron
- les alimentations de tous les éléments de transport de faisceau (lentilles, déviateurs,...)
- le stripper

► **Le contrôle commande permet de visualiser**

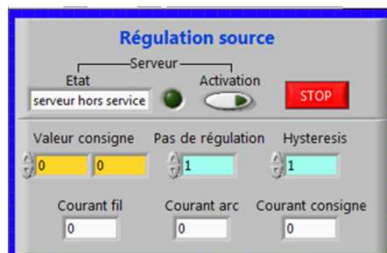
- l'état des vannes
- le niveau de vide
- la pression du SF6
- lecture du courant sur les cages de Faraday

► **Développements spécifiques sous labview**

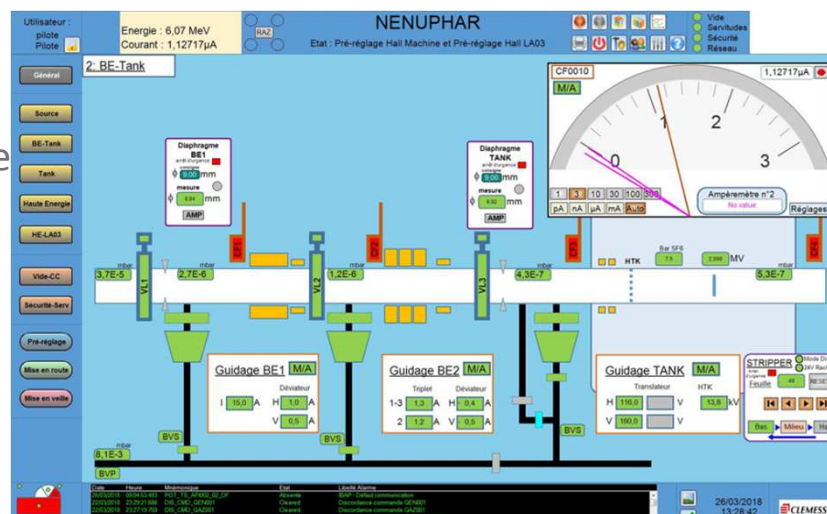
- régulations source IBA, tension TANK, aimant d'analyse
- conditionnement TANK
- gestion des profileurs
- lecture du courant cible



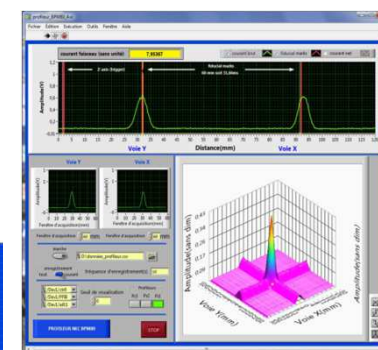
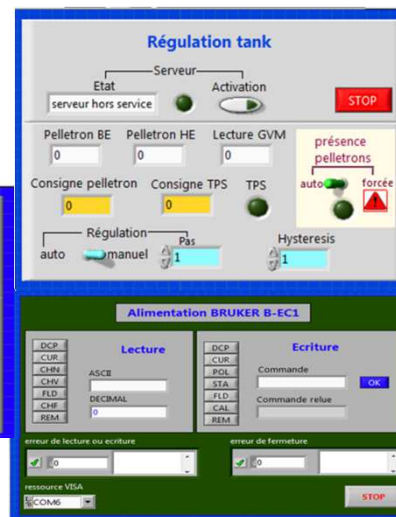
Lecture du courant cible



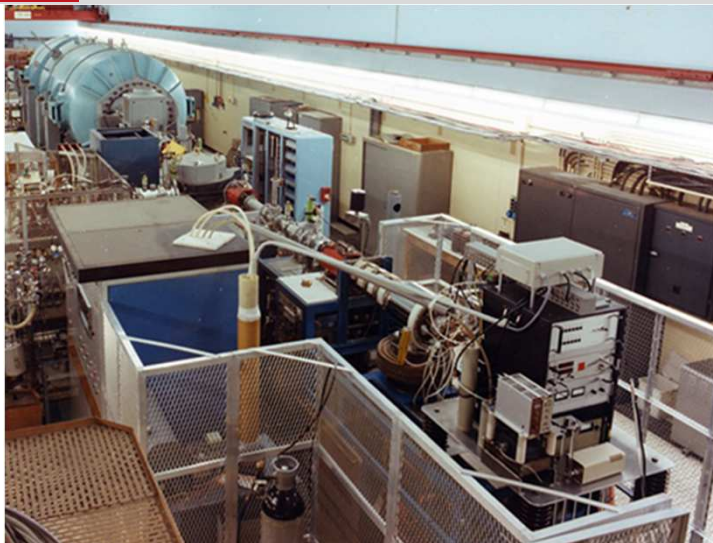
Régulation diverses



Exemple de vue de la supervision PANORAMA



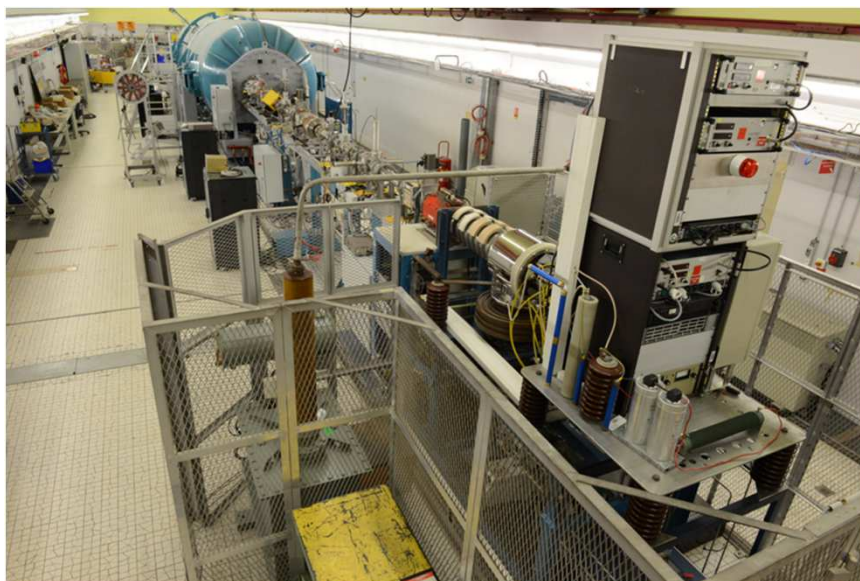
Visualisation profileurs de faisceau



Ancienne salle machine



Ancienne salle de pilotage



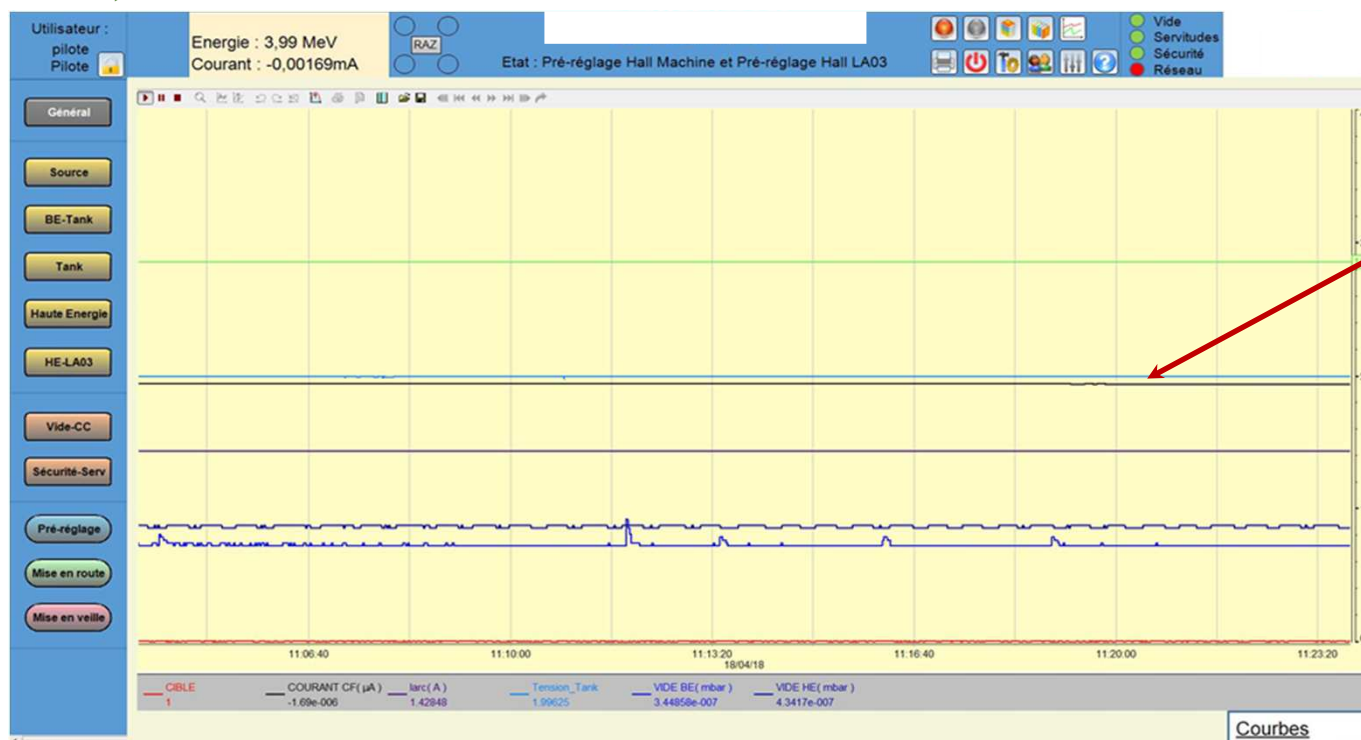
Nouvelle salle machine



Nouvelle salle de pilotage

PERFORMANCES

- Energie proton – deuteron : 4 MeV à 14 MeV
- Courant proton – deuteron : 1 μ A à 20 μ A
- Rendement moyen :
 - 4 MeV : 50%
 - 7 MeV : 70%
 - 14 MeV : 90% en théorie mais limitation à cause des chaînes pelletrons qui ne peuvent pas dépasser un courant chaîne total de 250 μ A
- Stabilité de la tension machine à 4 MeV



Tension tank
Bonne stabilité (variation
de l'ordre du kV)

MODIFICATION DE LA PARTIE « BASSE ÉNERGIE » - 2019

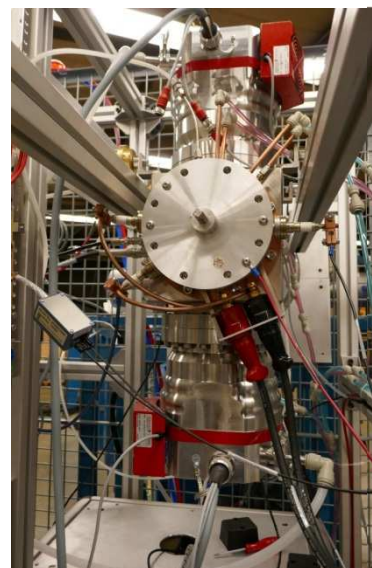
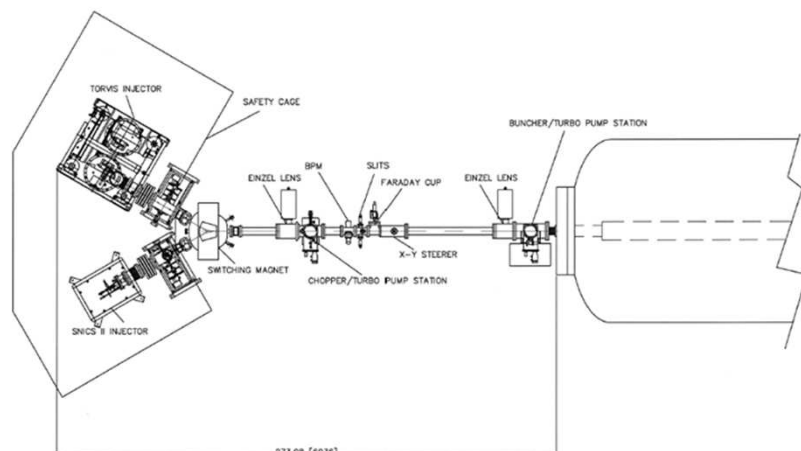
AJOUT D'UN SYSTÈME DE PULSATION (~ ns)

► Installation de 2 sources NEC : TORVIS et SNICS II



Injector	Current*
H ⁺ only version	400 μA H ⁺ (200 μA D)
He ⁺ only version	20 μA He ⁺
H ⁺ and He ⁺ version	100 μA H ⁺ , 20 μA He ⁺ (50 μA D)

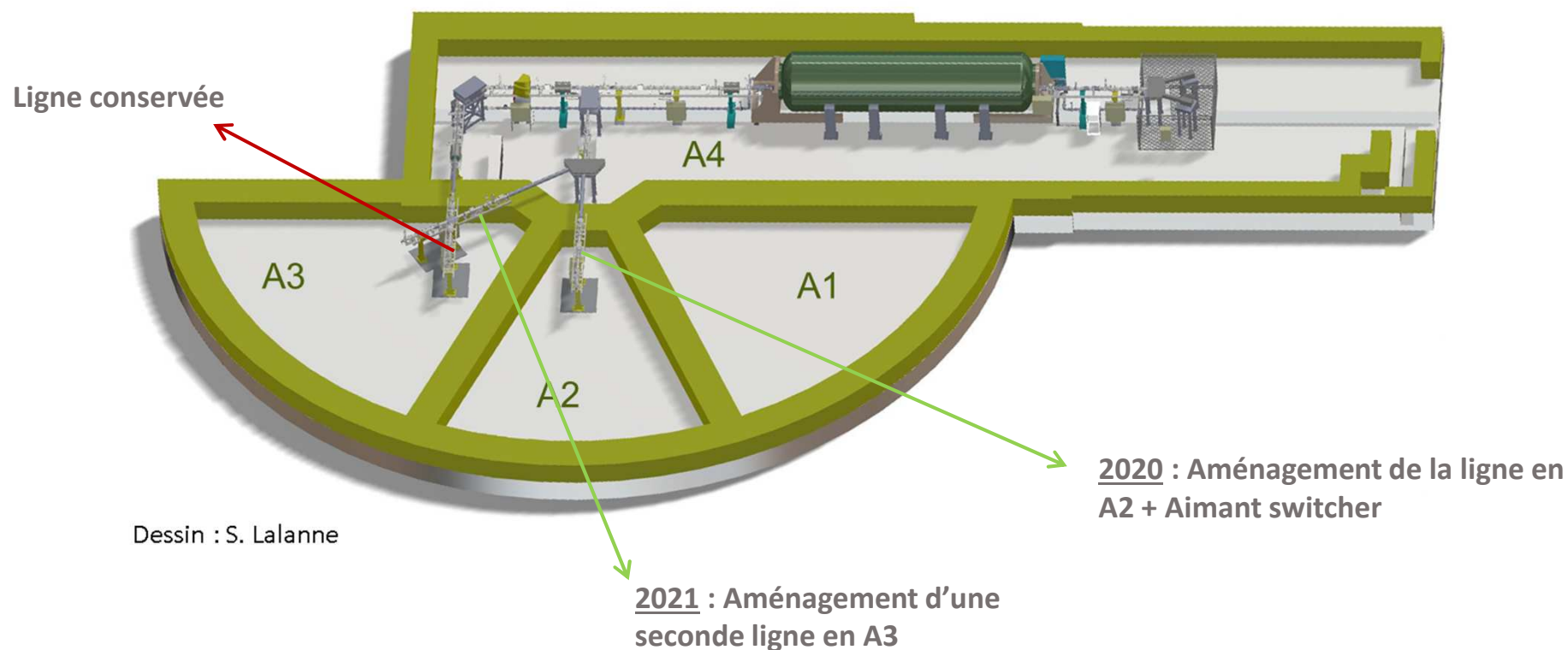
*Measured after mass analysis. Test beam currents are conservative with emittance for efficient transmission through tandem electrostatic accelerator.



Negative Ion	Current after Analysis (μA)	Negative Ion	Current after Analysis (μA)
H ⁻	130	As ⁻	60
D ⁻	150	Se ⁻	10
Li ⁻	4	Br ⁻	40
BeO ⁻	10	Sr ⁻	1.5
B ⁻	60	Y ⁻	0.66
B ₂ ⁻	73	Zr ⁻	9.4
C ⁻	260	Nb ⁻	7
C ₂ ⁻	40	Mo ⁻	5
CN ⁻	12	Rh ⁻	5
CN ⁻ (¹⁵ N)	20	Ag ⁻	13
O ⁻	300	CdO ⁻	7
F ⁻	100	InO ⁻	20
Na ⁻	4.0	Sn ⁻	20
MgH ₂ ⁻	1.5	Sb ⁻	16
Al ⁻	7	Te ⁻	20
Al ₂ ⁻	50	I ⁻	220
Si ⁻	430	Cs ⁻	1.5
P ⁻	125	CeO ⁻	0.2
S ⁻	100	NdO ⁻	0.3
Cl ⁻	100	EuO ⁻	1.0
CaH ₃ ⁻	0.8	ErO ⁻	10
TiH ⁻	10	TmO ⁻	1.0
VH ⁻	25	YbO ⁻	1.0
Cr ⁻	5	Ta ⁻	9.5
MnO ⁻	4	TaO ⁻	6
Fe ⁻	20	W ⁻	2.5
Co ⁻	120	Os ⁻	15
Ni ⁻	80	Ir ⁻	100
Cu ⁻	160	Pt ⁻	250
ZnO ⁻	12	Au ⁻	150
GaO ⁻	7	PbO ⁻	1
Ge ⁻	60	Bi ⁻	3.5

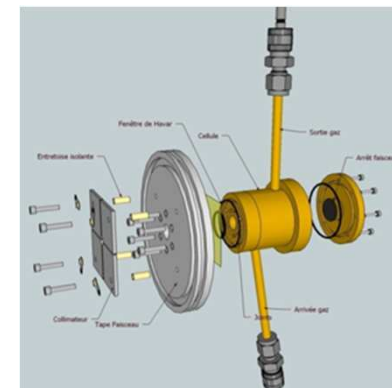
AMÉNAGEMENT DE NOUVELLES LIGNES : 2020 - 2021

- Objectifs : disposer d'une ligne de neutrons thermiques haut flux en salle A2 (cible Be avec un massif de thermalisation des neutron) et une deuxième ligne de faisceau en salle A3 pour les neutrons à haut flux



ENERGIE ET FLUX NEUTRONS ATTENDUS EN FONCTION DES CIBLES

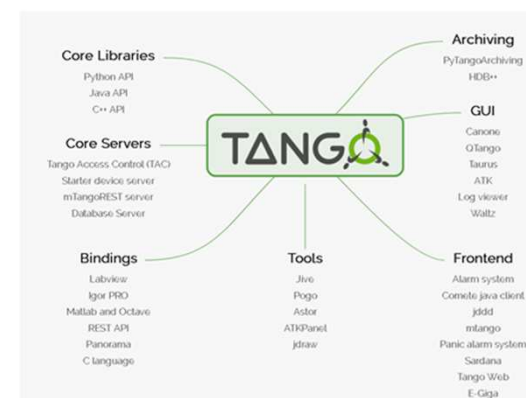
- Production de neutron entre 4 MeV et 25 MeV
- Cible gazeuse D2 (d+D) : flux de l'ordre de 10^8 n/s/sr at 0°
- Cible Be (d+Be) : flux de l'ordre de 10^{10} n/s/sr at 0°



Cible gazeuse D2

- Modification de la partie haute énergie pour desservir les salles d'expérience avec un aimant switcher
- Utilisation du contrôle commande fourni par la société NEC pour le pilotage de la basse énergie (AccelNet sous Linux)
- Supervision : passage sous TANGO (open source)
 - **Atout** : évolutivité et la maintenabilité des développements réalisés sur le long terme
 - Faciliter l'intégration de nouveaux équipements (2022 → intégration de la basse énergie au contrôle commande)
 - S'appuyer sur les nombreux outils développés par la communauté (archivage, alarmes, traitement des données, IHM,...)

TANGO ECOSYSTEM



► Planning





Merci de votre attention