



irfm

Le tokamak WEST comme tremplin vers ITER

Philippe MAGAUD (philippe.magaud@cea.fr)

Directeur adjoint de l'Institut de Recherche sur la Fusion par confinement Magnétique (IRFM)

Ludovic ALLEGRETTI (ludovic.allegretti@cea.fr)

Chef du Service Tokamak Exploitation et Pilotage (IRFM/STEP)

Journées ITER, 27 septembre 2023



Sommaire

- 1. L'Institut de Recherche sur la Fusion Magnétique (IRFM)**
- 2. Les projets (hors WEST) en perspective**
- 3. WEST, tremplin vers l'exploitation d'ITER → L. ALLEGRETTI**



L'Institut de Recherche sur la Fusion Magnétique (IRFM)

- Environ **330 personnes** basées au CEA/Cadarache



- **3** axes de recherche



Contribuer à la réalisation du projet ITER



Préparer l'opération scientifique d'ITER



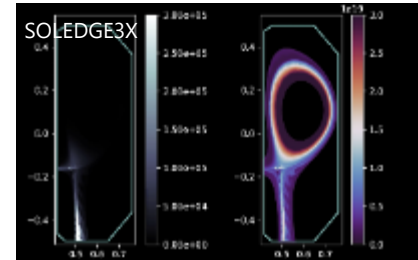
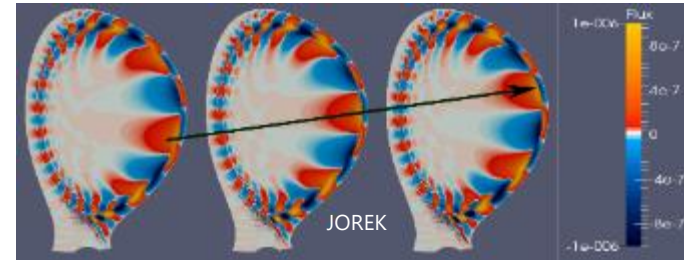
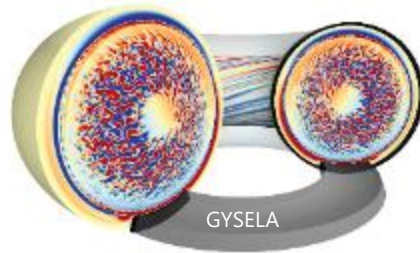
Etablir les bases d'une future centrale de fusion

4 domaines d'activité



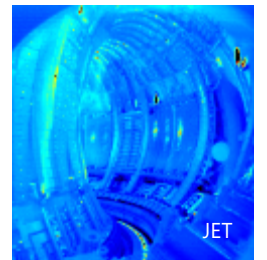
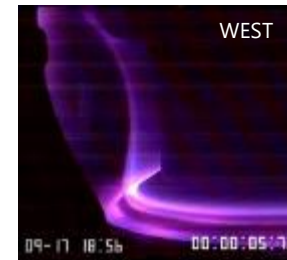
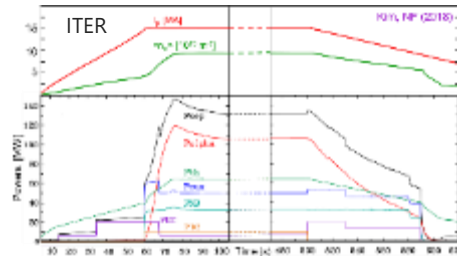
SIMULATION NUMÉRIQUE DES PLASMAS

Approche gyrocinétique
Approche fluide
Simulateur de décharge



EXPÉRIMENTATION PLASMA

Scénario et contrôle
Plasma de bord
Interaction plasma-paroi



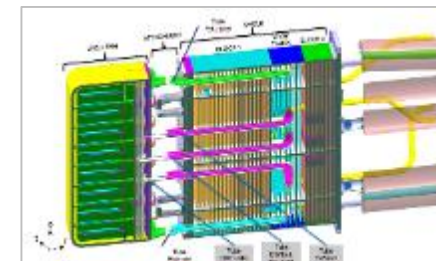
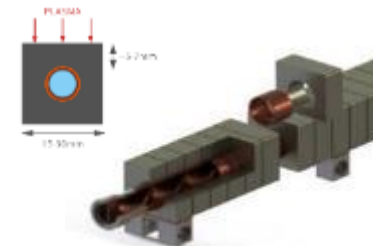
EXPLOITATION TOKAMAK WEST – JET – JT60-SA – (ITER)

Cryomagnétisme
Chauffages HF



INGÉNIERIE FUSION

Instrumentation
Composants faces au plasma
Couverture tritigène



Une infrastructure de recherche : le tokamak WEST*

Champ Magnétique Toroïdal
3.7 Tesla

Température bobines supra
1.8 K (-271.4°C)

Grand rayon plasma
2.5 m

Volume Plasma
18 m³

Courant plasma
1 MA

Puissance chauffage
additionnel
15 MW

Température plasma
100 Millions °C

Durée max. décharge
1000 secondes

**évolution du tokamak Tore Supra*

Des bancs d'essais pour le développement des technologies fusion

HADES

Station de test à haut flux

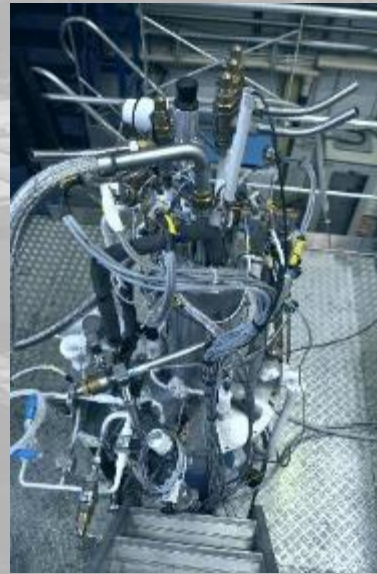


TITAN

Station de test RF



Cryomagnétisme



Salle de Réalité Virtuelle

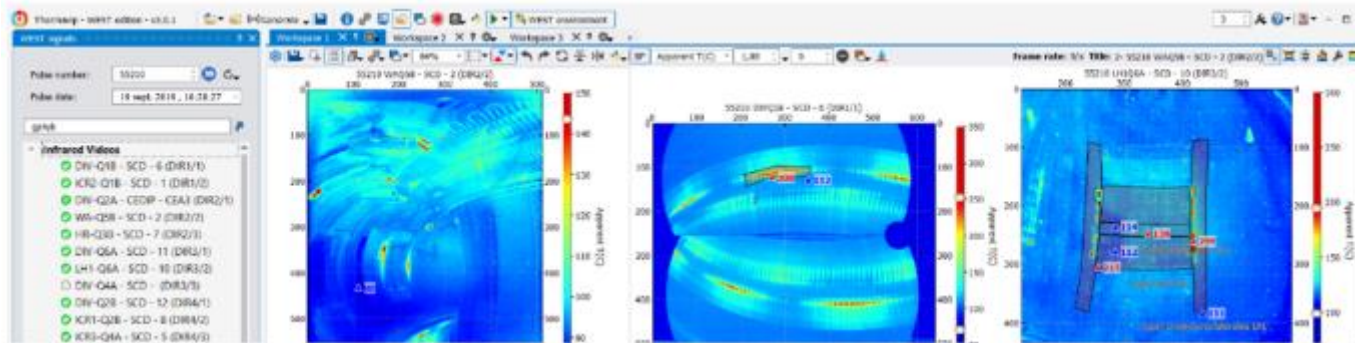


Instrumentation



Le projets engagés / à venir de l'IRFM et les besoins de supports potentiels

- Montée en puissance des **traitements avancés de données scientifiques et technologiques** :
Mots clé: IA, deep learning, Réalité Virtuelle/Augmentée (RV/RA), gestion de configuration...
Besoins: support industriel ou co-développement



Logiciel d'acquisition et de visualisation de données (ThermaVIP)



Co-développement d'une tenue ventilée utilisable pour les simulations en RV/RA

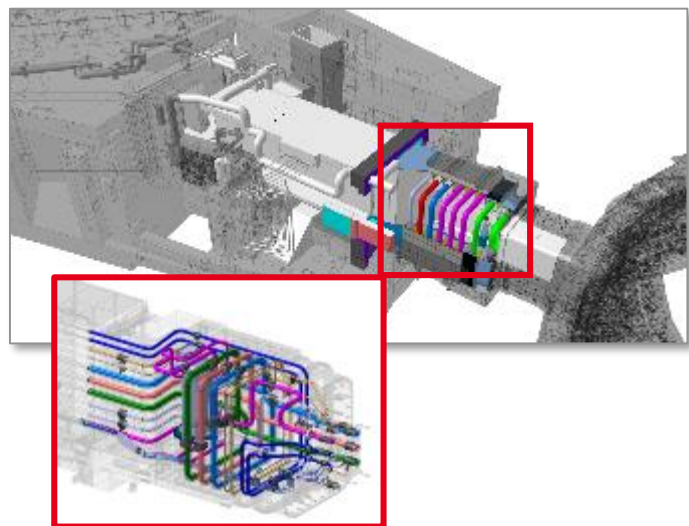
Le projets engagés / à venir de l'IRFM et les besoins de supports potentiels

- Développement / fabrication / exploitation de bancs de tests en support à ITER:

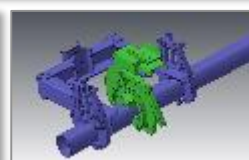
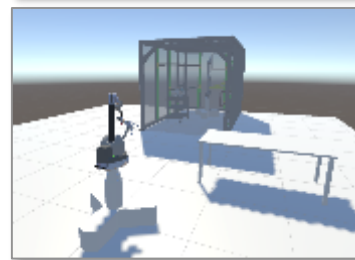
Mots clé: conception mécanique, fabrication, co-exploitation d'installation (vide, refroidissement, ...)

Besoins: support industriel

Exemple: développement des scénarios de maintenance des TBMs



Développement du mode opératoire de soudage des tuyaux en T91



Validation sur maquette de petite taille... voire potentiellement à échelle 1 (2025?)

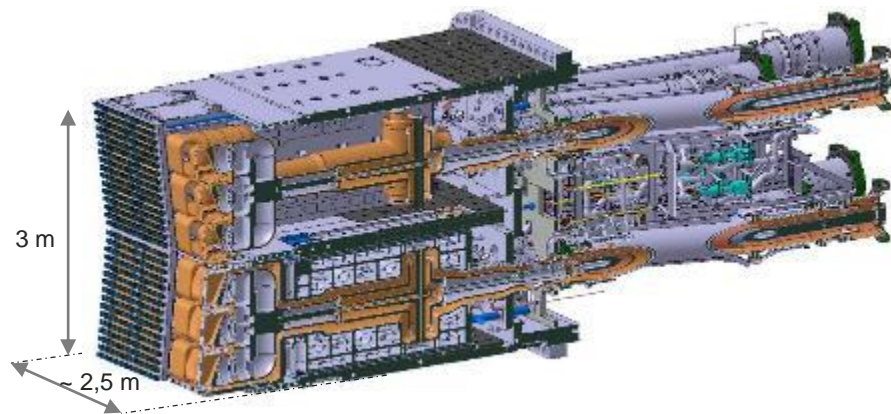
Le projets engagés / à venir de l'IRFM et les besoins de supports potentiels

- Développement / fabrication / exploitation de bancs de tests en support à ITER:

Mots clé: conception mécanique, fabrication, co-exploitation d'installation (vide, refroidissement, ...)

Besoins: support industriel

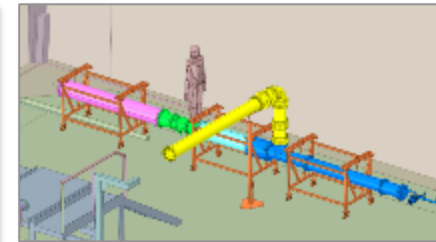
Exemple: R&D en support aux systèmes de chauffage d'ITER



Antenne ICRH d'ITER



Qualification de certains composants critiques sur les bancs test de l'IRFM...



Amélioration en cours du résonateur RF



Potentielle station de tests ¼ antenne

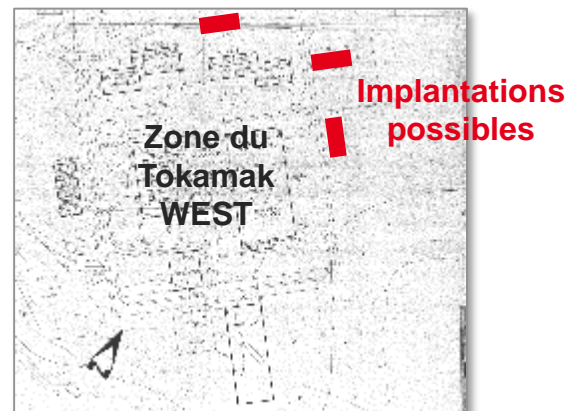
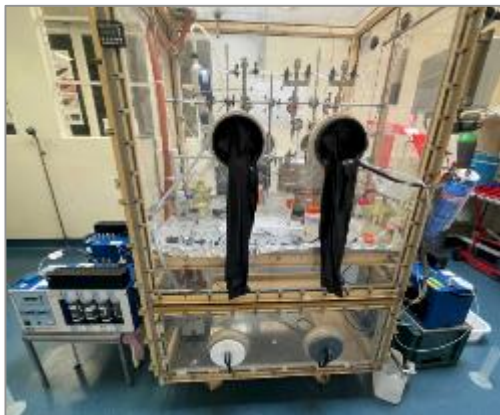
...dont certains nécessitent des améliorations

Le projets engagés / à venir de l'IRFM et les besoins de supports potentiels

- **Projet du Campus Tritium T4E (Tritium For Energy)**, Go/NoGo attendu en début 2024
 - Un **laboratoire de R&D sur le tritium** développant des compétences scientifiques et techniques en lien avec les problématiques « sureté » et « environnementale » du tritium.
 - Un **pole ouvert** aux scientifiques et aux industriels en apportant un outil expérimental unique
 - **Formation** des futurs intervenants de la machine ITER (salariés ITER et sous-traitants) sur la base d'une Ecole Tritium

Mots clé: génie civil, ICPE A, boites à gants tritium, réglementation, instrumentation,...

Besoins: support à maitre d'œuvre



- Installation Classée Protection de l'Environnement (ICPE) soumise à autorisation
- Installation évolutive
- 800m² disponibles pour des boites à gants et utilités
- Une ligne « à faible terme source de tritium (mg) » pour les expériences de perméation/rétention et une ligne « fort terme source de tritium (g) » pour les expériences sur les systèmes (détritiation de déchet par ex.)

L'IRFM peut aussi être en support de besoins industriels

■ Utilisation des bancs de tests de l'IRFM

- Tests d'étanchéité
- Des boucles sous pression
- Tests de composants sous haut flux thermique
- Tests cryomagnétiques
- Test RF
- ...



Zone des bancs de détection de fuite



Caisson de test de vide, de dégazage, détection de fuite...



Tests sous champ magnétique

- **IRFM en support d'expertise** sur des activités pour ITER (diagnostics, physique des plasmas, systèmes de chauffage, exploitation de tokamak,...)
- IRFM pilote d'une **formation sur la fusion : « Ecole Fusion pour Tous »**

Ecole FUSION pour TOUS 17-21 Juin 2024

- Ecole **généraliste** et accessible à tous (Niveau BAC+2)
- La FUSION expliquée :
 - Par des experts des différentes disciplines
 - en **français**
 - « avec les mains »
- **1 semaine en immersion totale** entre château et labos pour **50 participants**:
 - Le château de Cadarache : **15 cours magistraux**, 1 après midi débat sur « l'énergie et la place de la fusion »
 - L'IRFM : **10 visites des laboratoires + WEST** et des systèmes auxiliaires
 - Visite d'ITER



fusion
POUR TOUS
ÉCOLE FUSION
3ème édition

TOUT CE QUE VOUS AVEZ
TOUJOURS VOULU SAVOIR
SUR LA **FUSION**
PAR CONFINEMENT
MAGNÉTIQUE,
LES **TOKAMAKS**
ITER, WEST
LES ENJEUX
ET LES **DÉFIS**
À RELEVÉR

17-21 JUIN 2024
Château de Cadarache

NUCLEAR VALLEAUX
CEA

ORGANISÉE PAR LE CEA-IRFM

SAVE THE DATE : 17-21 JUIN 2024

CONTACT: Caroline.hernandez@cea.fr

Sommaire

1. L'Institut de Recherche sur la Fusion Magnétique (IRFM)
2. Les projets (hors WEST) en perspective
3. WEST, tremplin vers l'exploitation d'ITER → L. ALLEGRETTI



Le projet WIFI (WEST Infrastructure For ITER) : POURQUOI ?

Focaliser l'effort économique régional dans la préparation du fonctionnement d'ITER : positionner WEST comme un outil unique de formation et de mobilisation de compétences. Cet objectif est essentiel pour préparer les laboratoires et les industriels régionaux à l'exploitation scientifique et technique d'ITER.

- Formation des scientifiques dans l'élaboration, la conduite et l'analyse des expériences sur les plasmas
- Acquisition de compétences en maintenance et exploitation d'une installation de fusion.

en mettant à niveau la plateforme WEST → Support CPER

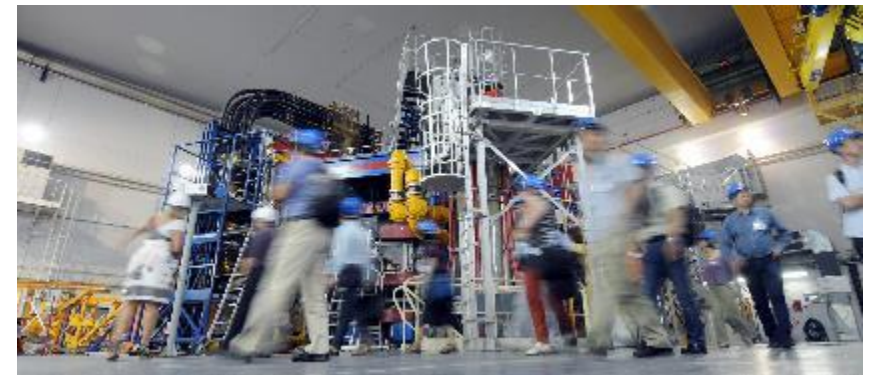
- Installation du système de chauffage principal d'ITER (ECRH)
- Installation d'une troisième tour de refroidissement (plasmas de 1000s)

et en **impliquant plus systématiquement les industriels dans l'opération du tokamak WEST**

- Mise en place de contrats de sous-traitance pour l'opération des systèmes continus : cryogénie, réfrigération, électrotechnique, ultravide, etc.



Salle de commande WEST



Hall tokamak WEST

Le projet **WIFI** : QUAND ?



Projet WIFI

2022

2023

2024

2025

2027



Boucle de refroidissement



Chauffage ECRH



Contrats exploitation/maintenance

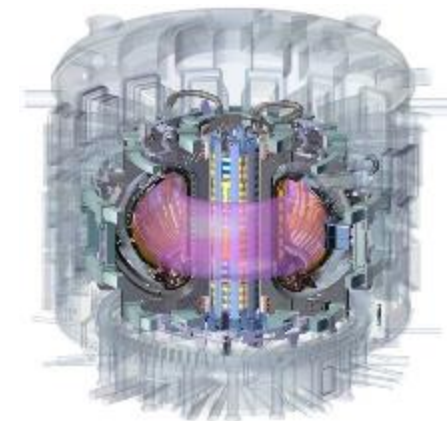


Exploitation WEST



Exploitation sous-systèmes ITER

Exploitation ITER



Le projet WIFI : avec QUI ?

WIFI associe le CEA et son institut fusion:

- à la **communauté scientifique nationale (FR-FCM)** et localement à l'ISFIN (AMU)
- au programme fusion européen (EUROfusion)
- à ITER (ITER-organisation et l'agence européenne F4E)
- à l'industriel français THALES, qui par cette participation, consolidera son positionnement pour la fourniture de tels moyens de chauffage
- au **tissu industriel impliqué dans la maintenance et l'exploitation technique de WEST**



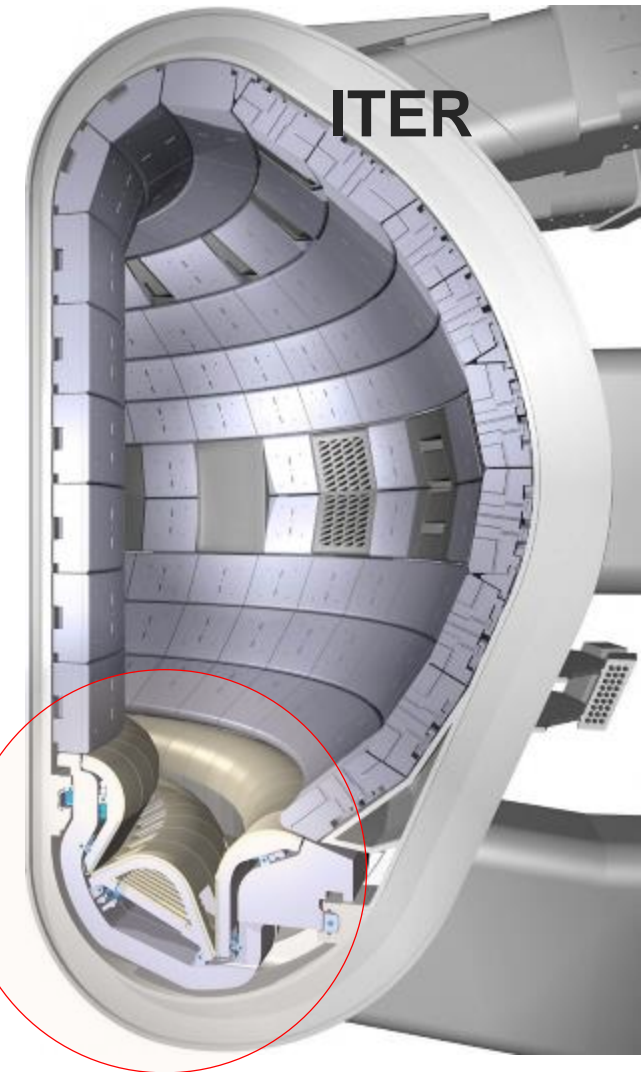
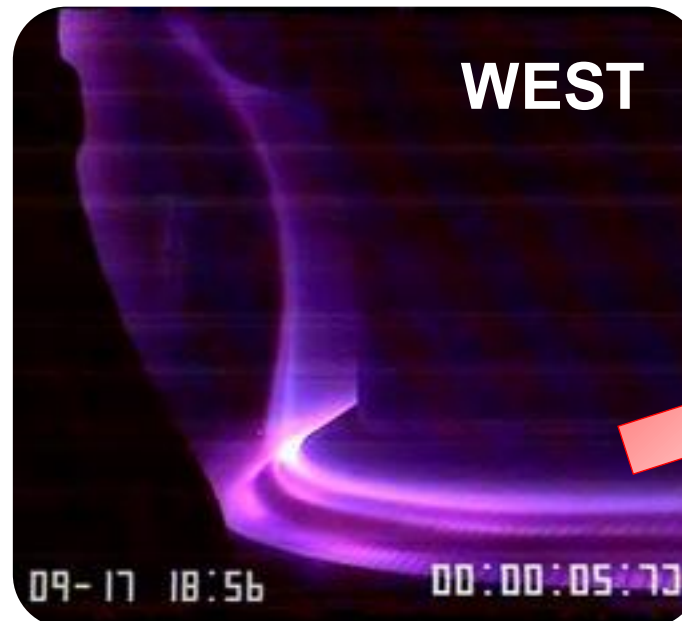
Les missions de WEST, infrastructure de recherches du MESRI

« Préparer ITER et se préparer à ITER »

Ouvrir la voie pour la construction et l'exploitation du divertor activement refroidi en tungstène d'ITER

Maîtriser les scénarios plasmas intégrés sur des durées d'équilibre avec la paroi en environnement métallique

***WEST : élément clé
de la feuille de route
nationale fusion***



WEST : une plateforme en préparation de l'opération ITER

Plateforme technique conçue pour produire des plasmas de fusion de longue durée (jusqu'à 1000s) avec flux de chaleurs extrêmes (jusqu'à 20MW/m²)

- Chambre à vide de 50 m³ (~10⁻⁵ Pa)
- Composants face au plasma W / Cu / SS activement refroidis (70°C, 24 bars)
- Champs magnétique toroïdal de 4 T → 18 aimants supraconducteurs (NbTi at ~1.8 K)
- Puissance de chauffages additionnels de ~20 MW
- ~250 MW de puissance électrique installée
- ~ 40 diagnostics (mesures et contrôles rapides)

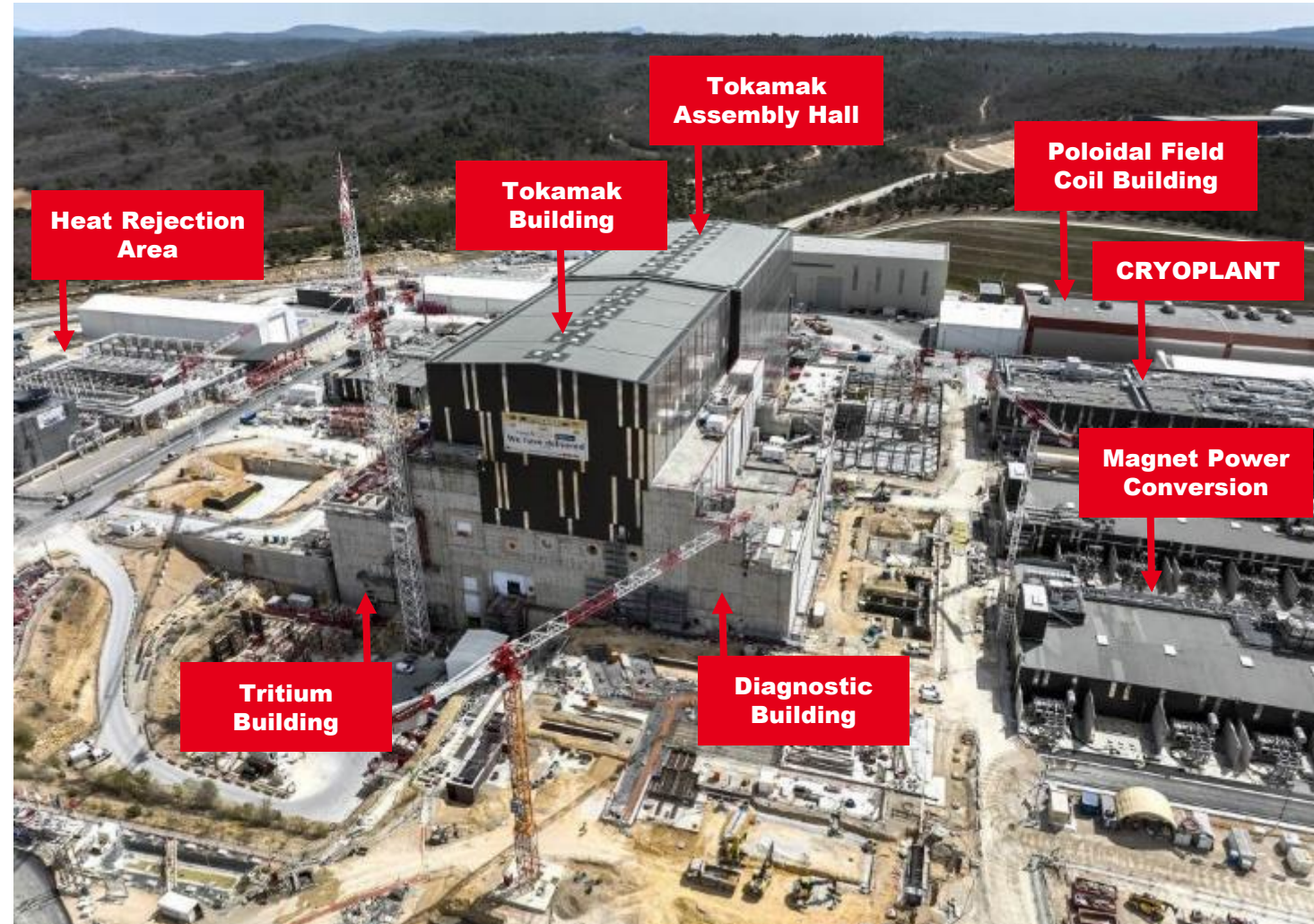


L'opération du tokamak WEST, dans la perspective ITER

Les sous systèmes caractéristiques de WEST qu'on retrouve dans ITER :

- Usine cryogénique
- Boucles de refroidissement (eau pressurisée, etc...)
- Alimentations électriques de puissance
- Transformateur 400 kV
- Systèmes de chauffages ondes HF
- Systèmes ultra-large
- Contrôle-commande

Projet WIFI : intervention accrue des industriels locaux leur ouvrant des perspectives sur ITER



Vue aérienne du chantier ITER en Avril 2022

Caractéristiques techniques des installations WEST (1/3)

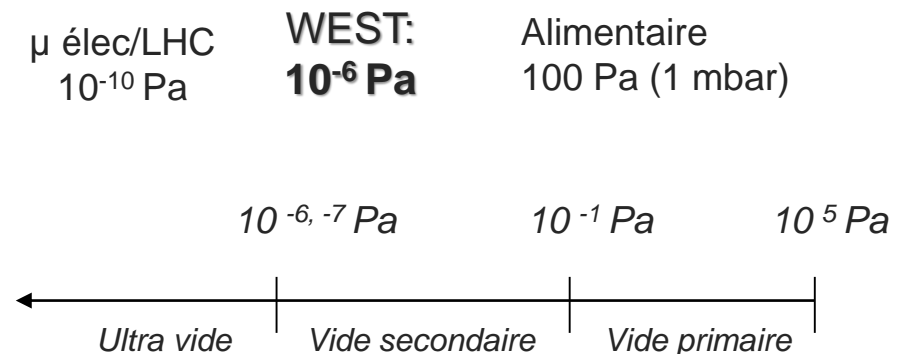
Boucles d'eau

- Fonctionnement continu 24/7 et pulsé
- Plusieurs boucles pour l'extraction de puissance et le conditionnement du Tokamak
- 2 TAR (+1 en construction) soumises à contrôle et autorisation DREAL

Pompage

- Mise sous vide de l'enceinte principale (plasma) et des enceintes périphériques (isolations thermiques)
- Env. 24 pompes (primaires, roots, turbomoléculaires) en fonctionnement 24/7
- Mise en œuvre de matériaux peu dégazants, de moyens d'essais et de détection des fuites

	Baking Operation	Plasma Operation
Thermal Power Removal Capacity	-	12 MW (steady-state)
Coolant Inlet Temperature	200 °C	70 °C
Loop Flow Rate	150 m ³ /h	1800 m ³ /h
In-Vessel Water Volume	9 m ³	
Total Loop Water Volume	35 m ³	
Centrifugal Pumps	2x 300 kW	
Heat Exchanger	12 MW / 130 m ²	
Heater	280 kW	



Caractéristiques techniques des installations WEST (2/3)

Installation cryogénique

- Système critique pour le maintien en froid de l'aimant supra → fonctionnement continu 24/7
- 3 températures d'opération 80K (écran thermique), 4K (boîtiers) et 1,8K (hélium superfluide pour l'aimant)
- Usine cryogénique : compression, pompage, distribution, stockage des fluides cryogéniques

Distribution électrique

- Puissance requise en continu pour les sous-systèmes, et en pulsé durant les plasmas (poloïdal et chauffages additionnels)
- 2 sources de puissance :
 - 15kV en continu (réseau CAD) 4 sous-stations, 7 transformateurs → Puissance totale de 10 MVA (Cryo 1,6MVA – REF 1,5MVA)
 - 400kV pour les systèmes pulsés (WEST → seul poste 400kV opéré hors EDF)

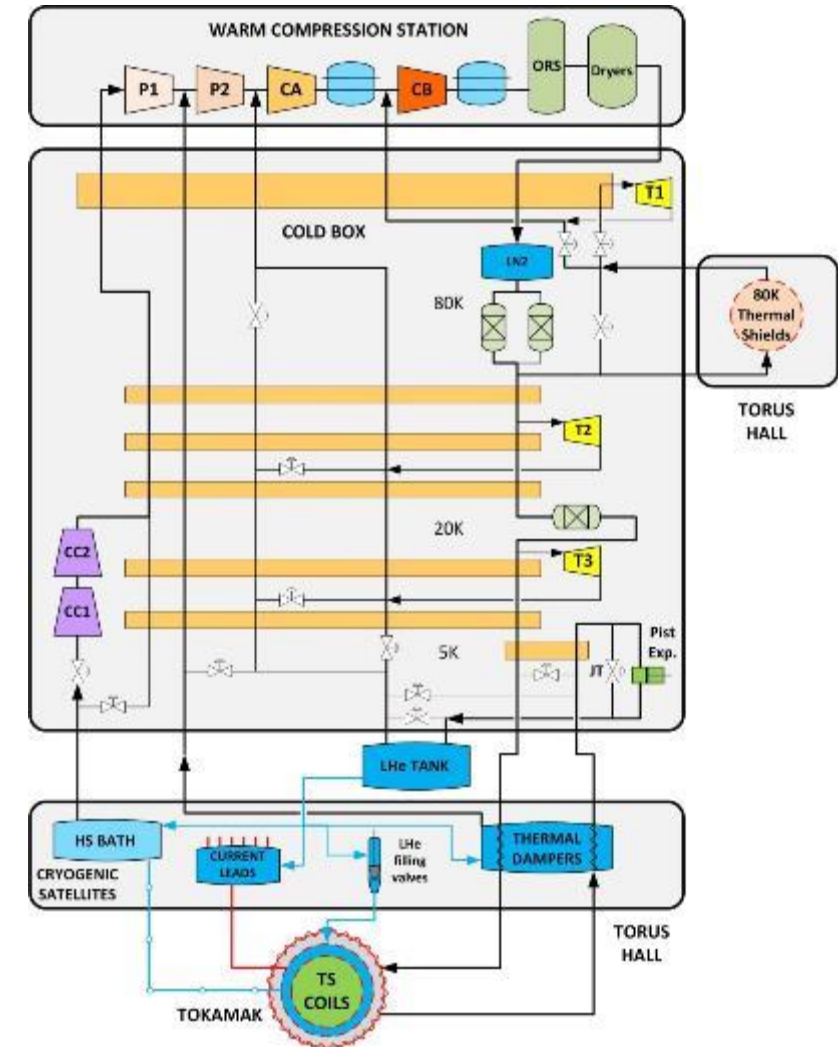
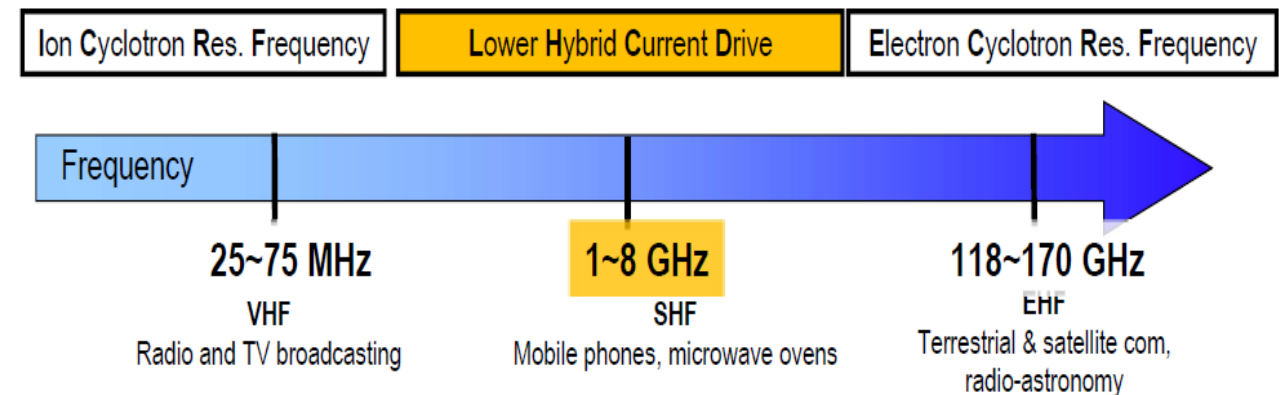
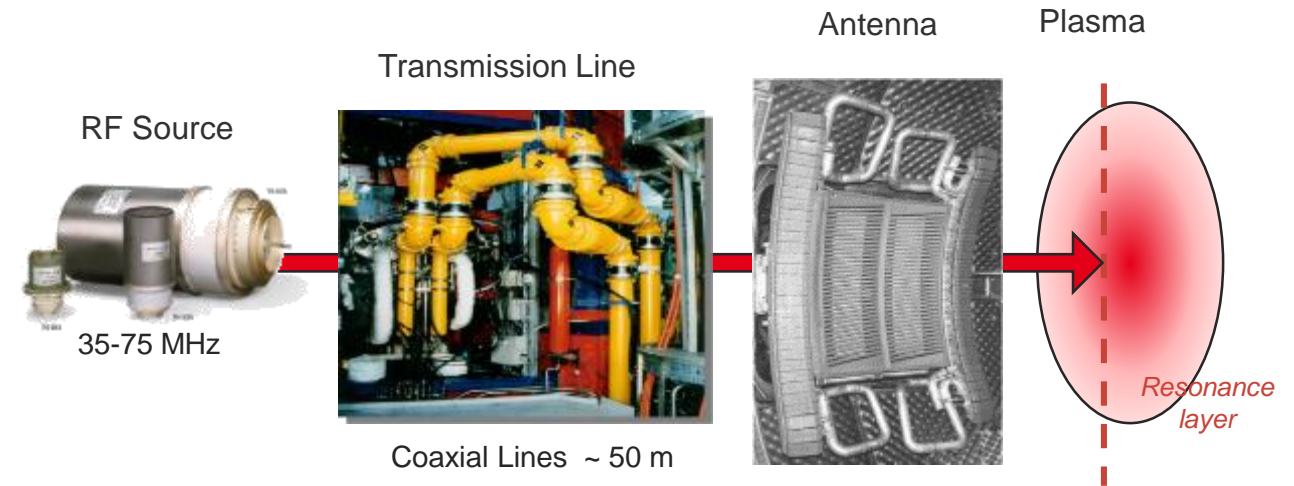


Schéma fonctionnel CRYOPLANT WEST

Caractéristiques techniques des installations WEST (3/3)

Systèmes de chauffage additionnel du plasma par ondes électromagnétiques hautes fréquences

- ICRH (Ion Cyclotron Resonance Heating)
 - 3 antennes installées
 - 12 MW (3MW-1000s) – 6 tétrodes Thales TH525 @ 35-75MHz
- LHCD (Lower Hybrid Current Drive)
 - 2 antennes installées
 - 9,2MW (1000s) – 16 klystrons Thales TH2103C @ 3,7 GHz
- ECRH (Electron Cyclotron Resonance Heating)
 - 1 antenne en cours d'installation
 - 3MW (1000s) – 3 gyrotrons Thales TH1507U @ 105GHz (opérationnels en 2024)



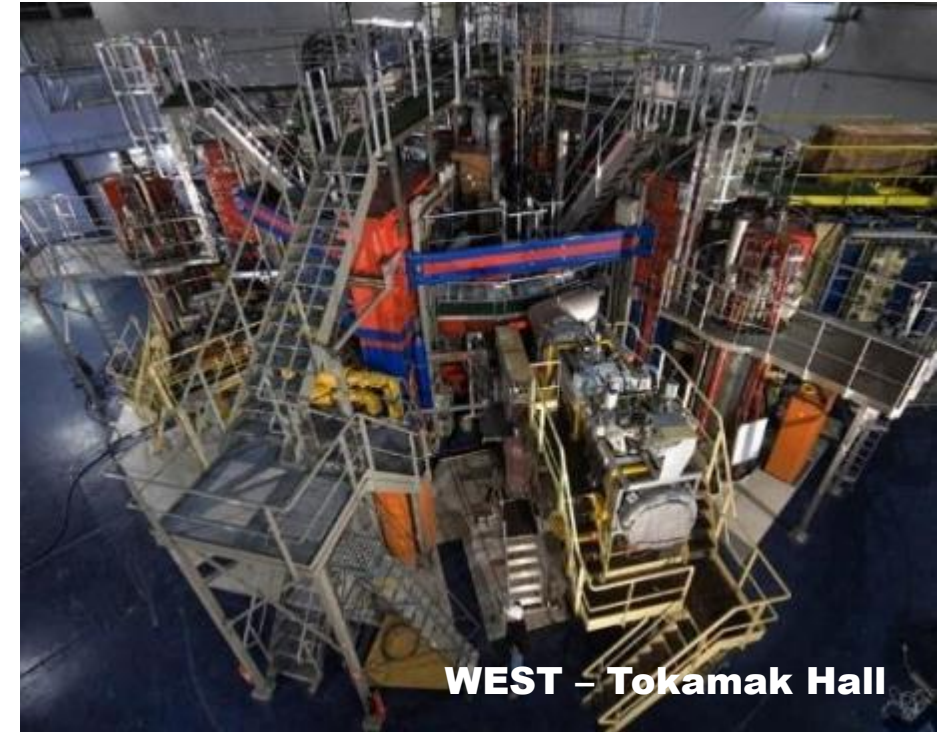
Le projet WIFI : impact socio économique

WEST en quelques chiffres

- Budget annuel d'exploitation : 14 M€ (coûts complets)
- Personnel d'exploitation : 100 ETP
- Personnel scientifique local (CEA/AMU) : 100 ETP
- Visiteurs scientifiques (nationaux, européens et internationaux) : 50

Retombées du projet WIFI

- Accroissement du financement européen (EUROfusion) grâce aux nouvelles capacités de la machine
- Financement de l'emploi scientifique
- Emploi : création d'emplois pérennes dans l'industrie pour WEST avec possibilité de levier important sur ITER
- Rayonnement scientifique régional sur ITER (AMU/Université Côte d'Azur/CNRS/INRIA/CEA)
- Formation de scientifiques, ingénieurs et techniciens de haut niveau (Formations diplômantes/Ecoles Universitaires de Recherche/Apprentissage)



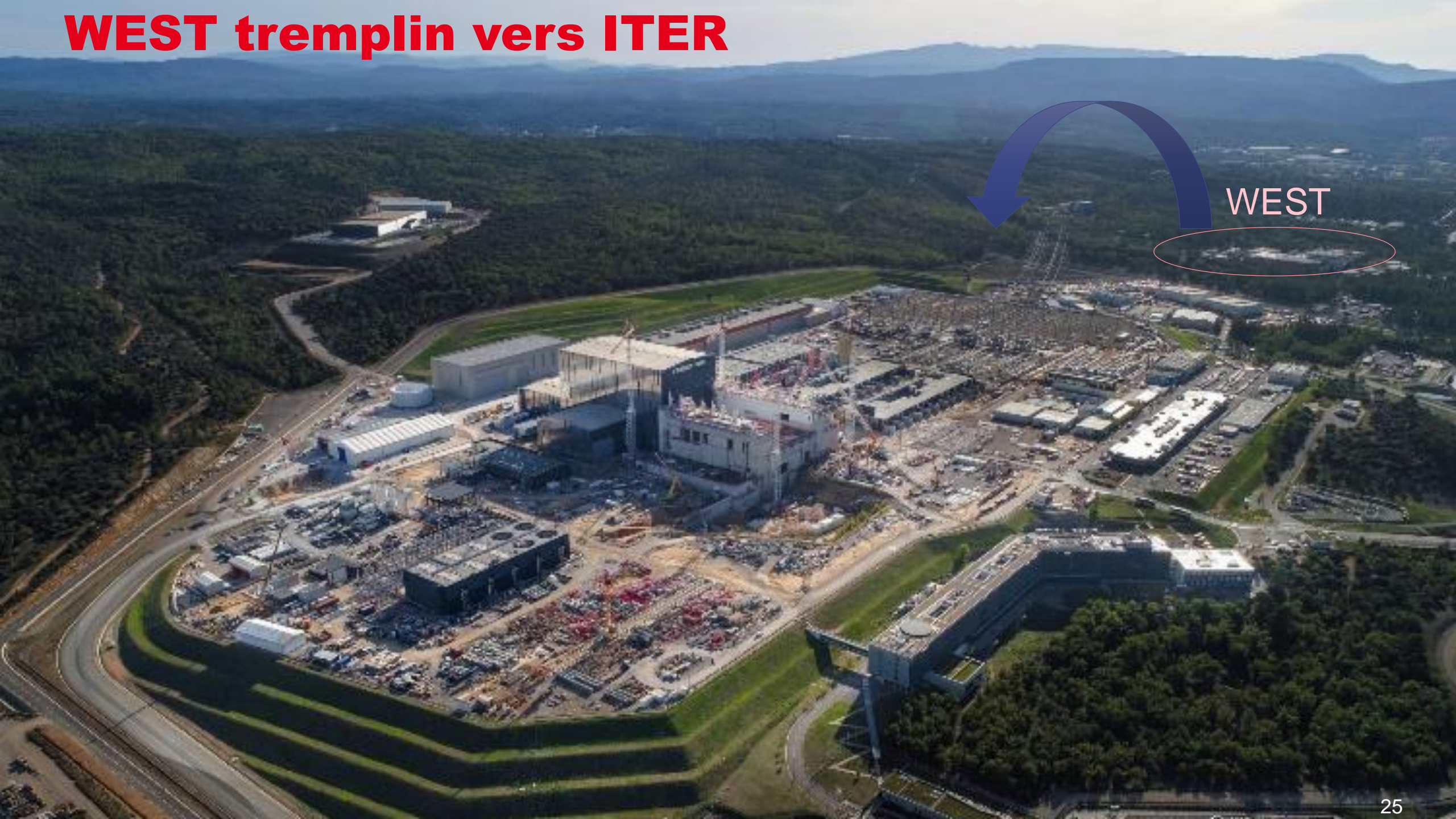
Maintenance et exploitation des installations WEST

Principaux contrats de sous-traitance en support aux activités IRFM

- **Contrat d'assistance à la maintenance et exploitation – Equivalent 3 ETP**
 - Renfort des capacités d'intervention en bénéficiant de l'expérience et des méthodes d'un prestataire industriel,
 - Maintenances préventives ou correctives des systèmes, rondes et contrôle
 - Equipes multi-compétences : électrotechnique, mécanique, réseaux fluides, machines tournantes, automatisme
 - Périmètre technique large :
 - Production d'eau, boucles de réfrigération, distribution HT/BT (400 kV RTE / 15 kV CAD), alims de puissance, usine cryogénique, réseau gaz comprimés (Air, He et N₂), réseau de pompage vide et ultravide
 - Outil GMAO support centralisant les gammes techniques (+ de 500 gammes)
- **Gestion de l'atelier mécanique (Atelier) – Equivalent 3 ETP**
 - Prestation d'usines et d'exploitation de l'atelier mécanique IRFM
- **Recherche de fuite – Equivalent 1,5 ETP**
 - Prestation de moyen et d'expertise
- **Contrat multiservices – Equivalent 3 ETP**
 - Gestion du magasin machine et prestation support installation et manutention



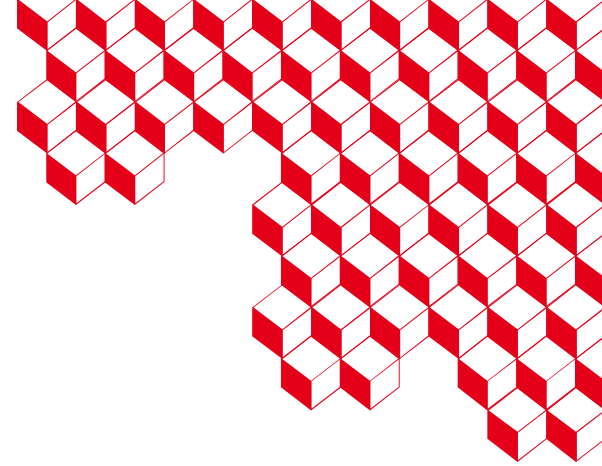
WEST tremplin vers ITER



WEST



irfm



Merci pour votre attention