© Image extracted from a video funded by the US Department of Energy, Oak Ridge Natio
Laboratory and the National Center of Computational Sciences. Visualization by Jamison Danie

cea aif

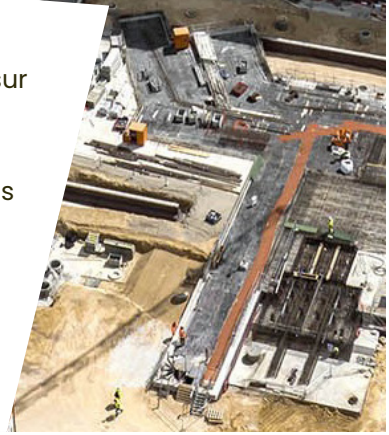
A LA DÉCOUVERTE D'iter

china eu india japan korea russia usa

Ce livret a été conçu par le CEA-Agence ITER France. Chaque année, plus de 6 000 scolaires sont accueillis sur le site ITER à Cadarache dans le cadre du programme pédagogique : ateliers, visites, parcours biodiversité, concours ITER Robots, Arborium sont autant d'occasions de découvrir les enjeux scientifiques de la fusion et de préservation de la biodiversité.

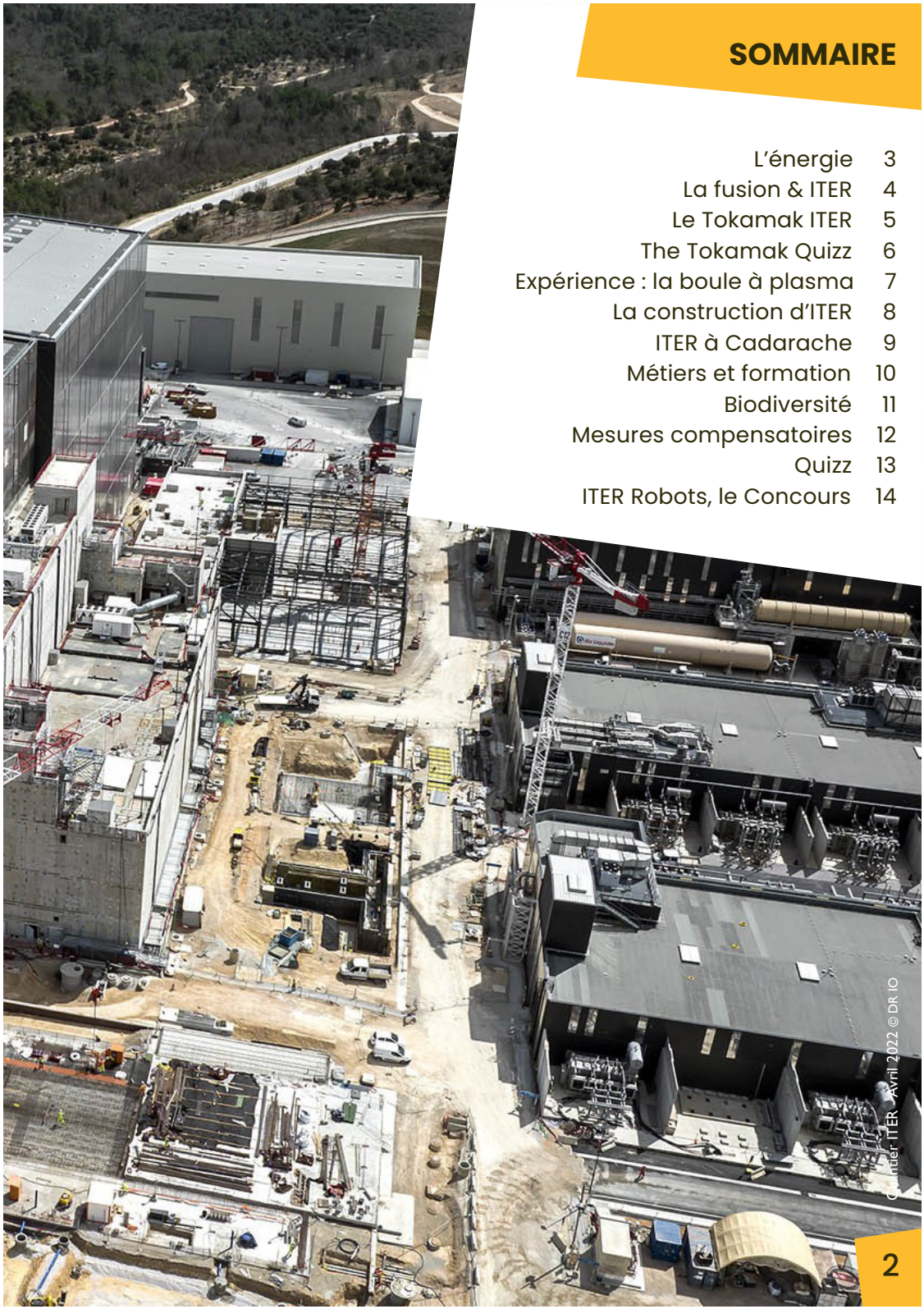
CEA-Agence ITER France
04 42 25 29 26
AIF-Communication@cea.fr

cea aif



SOMMAIRE

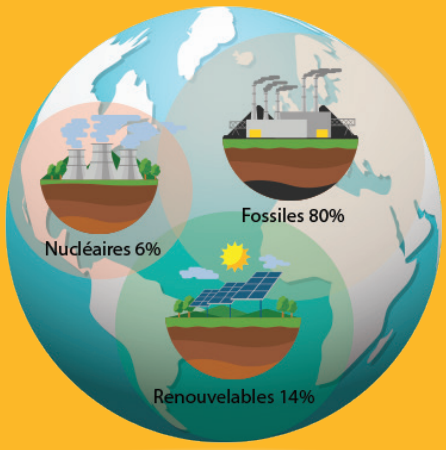
L'énergie 3
La fusion & ITER 4
Le Tokamak ITER 5
The Tokamak Quizz 6
Expérience : la boule à plasma 7
La construction d'ITER 8
ITER à Cadarache 9
Métiers et formation 10
Biodiversité 11
Mesures compensatoires 12
Quizz 13
ITER Robots, le Concours 14



Cryostat ITER - Avril 2022 © DR IO

L'ÉNERGIE

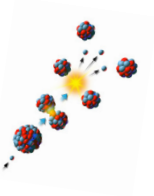
Les besoins en énergie sont croissants : la raréfaction des ressources, la prise de conscience des risques climatiques et la crise énergétique font de la question de l'énergie un enjeu planétaire.



Les **combustibles fossiles** couvrent aujourd'hui environ 80% des besoins en énergie dans le monde. Mais, leur utilisation contribue à l'augmentation de l'effet de serre et de bouleversements climatiques.

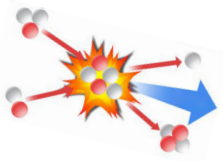
Les **énergies renouvelables** se caractérisent par une densité énergétique faible et une disponibilité variable, qu'il s'agisse de biomasse, de solaire, d'hydraulique, d'éolien ou de géothermie.

L'**énergie nucléaire** représente 6% de la production énergétique mondiale.



Au cœur des centrales nucléaires, la réaction de fission repose sur la séparation d'un noyau en deux noyaux plus légers. Cet éclatement s'accompagne d'un dégagement de chaleur, c'est à dire d'énergie.
Elle est très énergétique : **1kg d'Uranium = 10t de pétrole**

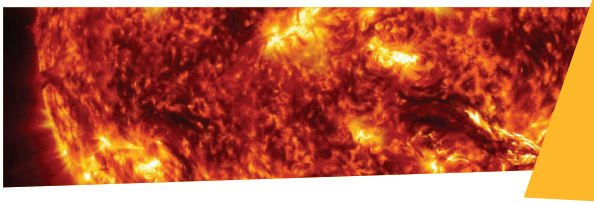
Une autre voie est étudiée, celle de la fusion nucléaire. Les recherches visent à maîtriser la production d'énergie en fusionnant deux noyaux d'atomes de deutérium et de tritium (D-T).



LA FUSION & ITER

Maîtriser la réaction de fusion sur Terre suppose de relever de nombreux défis. Pour reproduire ce qui se passe naturellement au cœur des étoiles, il faut chauffer à très haute température un gaz pour créer un plasma, lui-même confiné par un puissant champ magnétique.

Dans ITER, pour obtenir le maximum d'efficacité des réactions de fusion des atomes de deutérium et de tritium, la température pourra atteindre jusqu'à 150 millions de degrés au cœur du plasma : 10 fois plus chaud qu'au cœur du Soleil.



Quatrième état de la matière, le plasma est un gaz «ionisé» au sein duquel les électrons se détachent des noyaux des atomes et se déplacent parmi eux. Il constitue 99% de notre univers : soleil, aurores boréales, ...

CALCUL

Alors qu'une centrale au charbon de 1000 MW brûle 2,7 millions de tonnes de charbon par an, une centrale de fusion comme celles qui pourraient être opérationnelles dans la deuxième partie du XXIe siècle ne consommera que 250 kilos de combustible (D-T) chaque année*. **Calcule à combien de tonnes de charbon correspond 1 gramme de mélange Deutérium-Tritium.**

* Source : www.iter.org

La fusion nucléaire est expérimentée depuis les années 1960 dans des tokamaks.

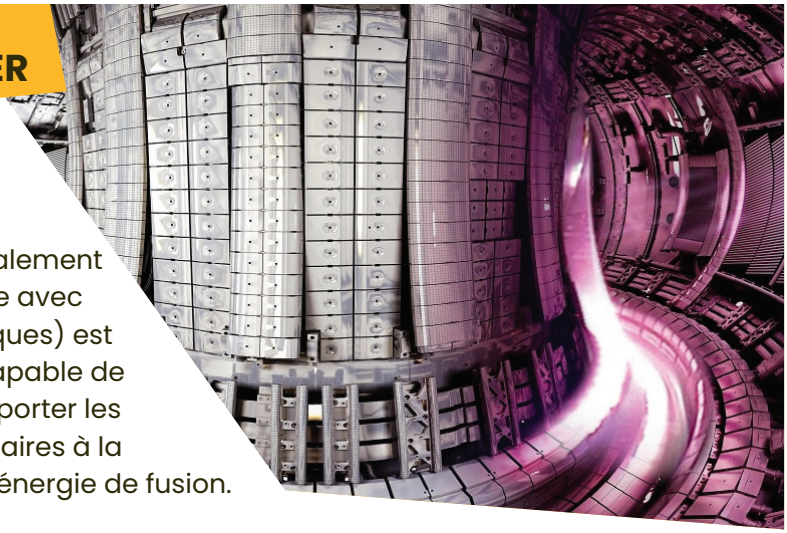
Novembre 1985 : le Président russe, Mikhail Gorbatchev, propose à Ronald Reagan, Président des Etats-Unis, une collaboration sur l'énergie de fusion.

1987 : L'Europe et le Japon adhèrent au projet.

2005 : les sept partenaires du projet ITER (Chine, Corée du Sud, Etats-Unis, Inde, Japon, Russie et Union Européenne) sélectionnent le site de Cadarache à Saint-Paul-lez-Durance (13) pour construire la plus grande machine de recherche sur l'énergie de fusion au monde.

Novembre 2006 : le traité de l'organisation internationale ITER est signé.

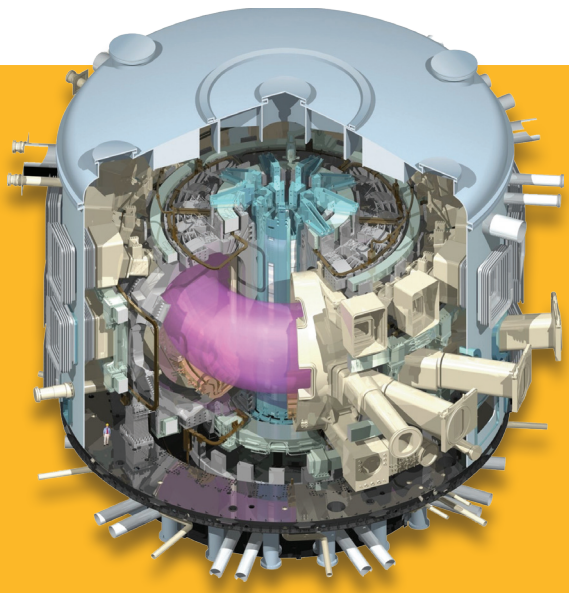
LE TOKAMAK ITER



Un **Tokamak** ?
Invention russe,
le Tokamak (littéralement chambre toroïdale avec bobines magnétiques) est une installation capable de générer et de supporter les conditions nécessaires à la production d'une énergie de fusion.

ITER sera le plus grand Tokamak au monde. Il fonctionnera avec un système d'**aimants supraconducteurs** pour maintenir la réaction de fusion.
L'énergie générée par la fusion des noyaux d'atomes sera absorbée sous forme de chaleur par les parois de la chambre à vide.

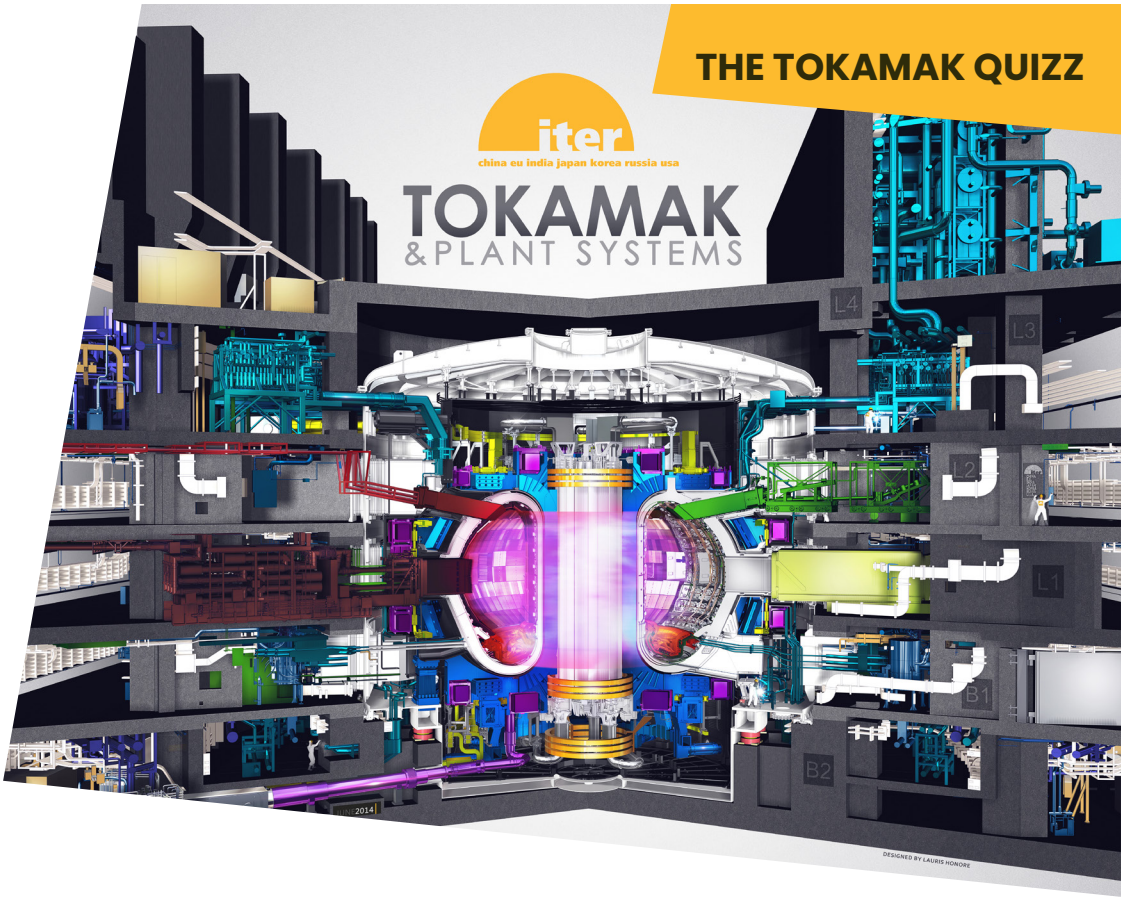
Comme les centrales nucléaires, une centrale de fusion utilisera cette chaleur pour produire de la vapeur puis, grâce à des turbines et à des alternateurs, de l'électricité.



LE CŒUR D'ITER

Sur le schéma ci-contre, indique où se situent le **solénoïde central**, les **aimants toroïdaux** et le **divertor**.

THE TOKAMAK QUIZZ



How many components are assembled to build the ITER Tokamak ?

What are the dimensions of the Tokamak (size and weight) ?

What is the requested temperature to create a plasma in the ITER vacuum chamber ?

Why the superconducting magnets are necessary to achieve ITER's aim ?

What does ITER mean in latin ?

EXPÉRIENCE : LA BOULE À PLASMA

Matériel

1 boule à plasma & 1 tube néon de 20 cm

Comment ça marche ?

Une boule à plasma est un globe en verre hermétique contenant une électrode centrale et un mélange de gaz inertes (néon, xénon et krypton). Quand elle est allumée, le courant électrique chauffe le gaz qui devient ionisé et crée un plasma. Le plasma est un bon conducteur, ce qui produit les filaments lumineux observés.

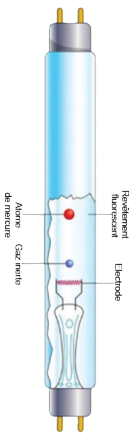
Contrairement aux tubes phosphorescents dans lesquels la décharge électrique passe entre deux électrodes, une boule à plasma n'a qu'une électrode centrale. Elle crée un champ électrique alternatif qui s'étend au-delà du globe en verre et est à l'origine d'un champ électromagnétique dont l'intensité décroit en s'éloignant de la sphère.

En pratique : Allumer la boule à plasma.

Expérience 1 : Poser une main sur la boule. De nombreux filaments sont attirés par la main. **Le corps humain, meilleur conducteur que l'air, concentre l'énergie électrique produite qui l'utilise pour s'échapper de la boule à plasma.**

Expérience 2 : Approcher le néon à proximité de la boule à plasma : il s'éclaire. Faire glisser sa main le long du tube : la partie proche de la boule est éclairée tandis que celle après la main est éteinte. On observe également que la lumière est plus ou moins puissante en fonction de la proximité du tube avec la boule.

Lorsqu'on approche le néon de la boule, son champ électromagnétique excite les électrons des atomes de gaz à l'intérieur du tube. Les atomes excités émettent des rayons ultraviolets, invisibles à l'oeil nu, qui sont absorbés par le revêtement phosphorescent à l'intérieur du néon et convertis en lumière blanche.



LA CONSTRUCTION D'ITER

Le **chantier ITER** représente actuellement l'un des plus importants chantiers en Provence : plus de 4000 personnes y travaillent. Près de 80 % des entreprises sur le site de construction sont françaises et des entreprises internationales se sont implantées dans la région.
Outre les travaux de génie civil, la phase d'assemblage de la machine offre de nouvelles opportunités de partenariats et d'emploi pour répondre aux besoins des fournisseurs et des partenaires d'ITER.

104 km entre Fos-sur-Mer et le site ITER

L'**itinéraire ITER** traverse 16 communes. Des ponts ont été renforcés, des routes élargies et des ronds-points modifiés.
La coordination **des convois très exceptionnels,** par leur taille (10 mètres de haut) et leur poids (jusqu'à 800 tonnes) est assurée par le CEA-Agence ITER France.

LE CONVOI LE PLUS LOURD

Combien de roues a la remorque qui transporte le composant le plus lourd ?

ITER À CADARACHE

Le choix du site de Cadarache pour implanter les centres de recherche du CEA et d'ITER représente des enjeux importants pour le territoire d'accueil et son environnement.

Une région active

Les acteurs régionaux se sont mobilisés pour bâtir une offre régionale en termes d'accueil, de logement, d'offre éducative, de développement de zones d'activité économique.

- Contrats remportés par les entreprises qui créent des emplois et participent au développement des activités, à la mise en place de partenariats.
- Dépenses générées par les salariés directs ou indirects et leurs familles.
- Implantation d'entreprises internationales dans les communes des environs : plus d'un millier d'emplois concernés.
- Développement économique des communes.

LA PREMIÈRE TECHNOPOLE DES ÉNERGIES

Combien d'emplois génère le pôle de recherche sur les énergies constitué par ITER et le CEA à Cadarache, dans le sud de la France ?

Étude du climat, de l'énergie, du vivant ou de l'Univers... La recherche vise à améliorer nos connaissances et à développer de nouvelles technologies au service de la société.

Le CEA et ITER proposent de nombreux **débouchés dans le champ de la recherche**. Les métiers sont accessibles à tout titulaire d'un bac scientifique ou technologique qui souhaite poursuivre ses études sur deux ans ou plus : technicien, ingénieur, chercheur.

Si vous êtes curieux et aimez travailler en équipe, les métiers de la recherche sont faits pour vous !

FORMATION

Bac S
Ecole d'ingénieur et/ou master de physique des plasmas ou astrophysique
Doctorat
Salaire des débutants : 2800-3000€ bruts

Zoom sur le Master 2 Sciences de la fusion et des Plasmas

Institut national des sciences et techniques nucléaires (INSTN)

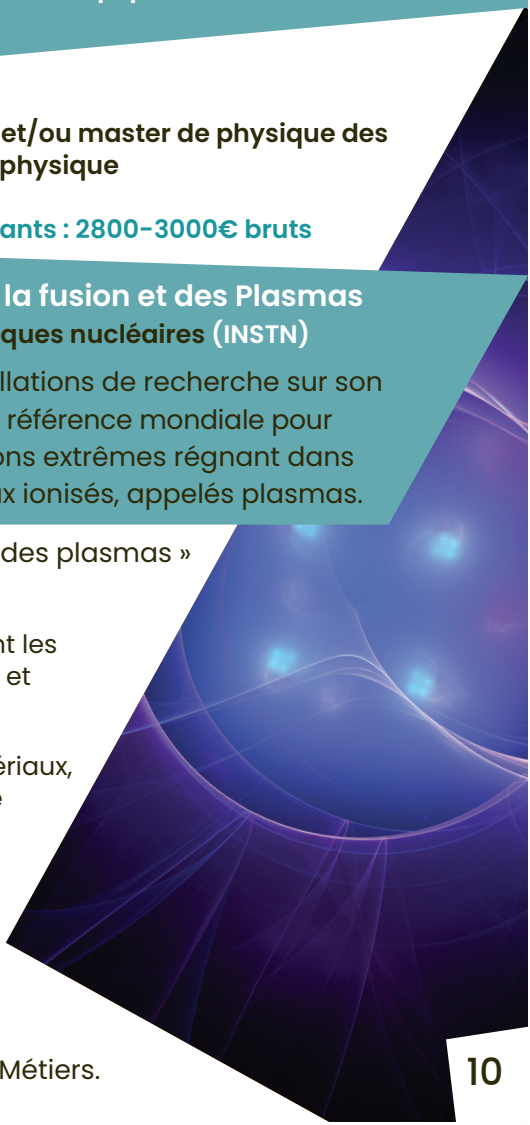
La construction de très grandes installations de recherche sur son territoire donne à la France un rôle de référence mondiale pour comprendre et reproduire les conditions extrêmes régnant dans les étoiles et donc maîtriser les milieux ionisés, appelés plasmas.

Le Master 2 « Sciences de la fusion et des plasmas » vise à former des étudiants à la fois :

- sur les plasmas de fusion en couvrant les approches théoriques, de simulation et d'expérimentation.
- sur les technologies associées : matériaux, cryomagnétisme, générateurs Haute Fréquence, lasers de puissance, diagnostics.

Partenaires :

- www.master-plasmas-fusion.fr
- Universités Aix-Marseille, Bordeaux, Lorraine, Pierre et Marie Curie.
- Écoles Centrale Marseille et Arts et Métiers.



BIODIVERSITÉ

Située dans la zone de confluence Durance-Verdon, à proximité des parcs naturels régionaux du Luberon et du Verdon, la forêt de Cadarache mérite toutes les attentions pour sa **biodiversité exceptionnelle.**

Les inventaires écologiques ont permis d'identifier **39 espèces végétales et animales** : des chauves-souris, des insectes comme le pique-prune et le grand capricorne qui vivent au creux de chênes de plus de 300 ans ou encore des reptiles, comme le lézard le plus grand d'Europe et de nombreuses orchidées.

LES **4 MESURES COMPENSATOIRES** MISES EN ŒUVRE PAR LE CEA :

- Achat et préservation de 480 ha de forêts : Ribiers, Saint-Vincent-sur-Jabron, Mazaugues
- Gestion de 1200 ha d'espaces naturels à Cadarache
- Financement d'une thèse sur la méthode de calcul des mesures compensatoires
- Information et sensibilisation du public

Qu'est-ce qu'une **politique ERC** ?

E ..... R ..... C .....

MESURES COMPENSATOIRES

Trouve pour chaque projet de construction (A et B) les mesures à prendre pour en limiter les impacts et relie-le à celles qui lui correspondent.

Construction d'une autoroute dans le lit de la Durance :

- Destruction des espèces ripicoles
- Rupture de corridors écologiques
- Pollution des eaux de ruissellement
- Prélèvement de granulats
- Nuisance sonore
- Collision avec les oiseaux et animaux

Construction d'ITER

- Coupe d'arbres
- Perte d'habitats
- Bruits, poussière
- Rupture de corridors

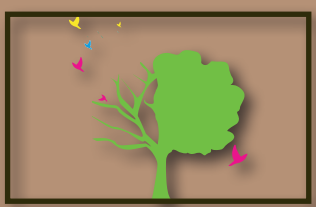
Modification de zones de construction pour préserver des espaces naturels.

Murs anti-bruit

Achat de 3 forêts : Ribiers, Mazaugues, Saint-Vincent-sur-Jabron

Passage à faune

Préservation de 1200 hectares de forêts à Cadarache



Information du public

QUIZ

Entoure la ou les bonnes réponses pour chaque question.

En France, quelle est la part de l'énergie nucléaire dans la production d'électricité ?

6% 50% 75%

La fusion nucléaire permet d'obtenir :

- 2 noyaux d'atomes légers à partir d'un noyau lourd
- Un noyau d'atome lourd à partir de 2 noyaux légers
- Un noyau d'atome léger à partir d'un noyau lourd

Pourquoi les énergies renouvelables sont-elles intermittentes ?

- C'est une énergie en phase de recherche.
- C'est une énergie qu'on ne peut pas stocker.
- C'est une énergie pour laquelle les sources ne sont pas disponibles en permanence.

A la frontière de quels départements se situent les centres de recherche du CEA et d'ITER ?

Bouches-du-Rhône Vaucluse
Alpes-de-Haute-Provence Var

Quelles sont les actions mises en place pour compenser le défrichement du site ITER :

- Sanglage de troncs à des arbres sur pied
- Des talus d'envol pour les oiseaux
- Des achats de forêts pour les protéger

Quelle est la définition d'un isotope ?

- Des atomes ayant le même nombre de protons et de nucléons
- Des atomes ayant le même nombre de protons et d'électrons, mais un nombre différent de neutrons
- Des atomes ayant un nombre de protons différent du nombre d'électrons
- Des atomes ayant le même nombre de neutrons et un nombre différent de protons

Sans le bois mort, un quart des espèces forestières n'existerait pas :

Vrai Faux

Qu'est-ce que la fruticée ?

- La fruticée se caractérise par une végétation dominée par des arbustes et des buissons.
- Elle se trouve avant la clairière.
- Elle permet la construction de nids à l'abri de prédateurs.

Quel élément ne fait pas partie d'une centrale hydroélectrique ?

Une turbine Un tokamak
Un alternateur

Le pique-prune est une espèce de :

Gastéropode Coléoptère Annélide

ITER Robots

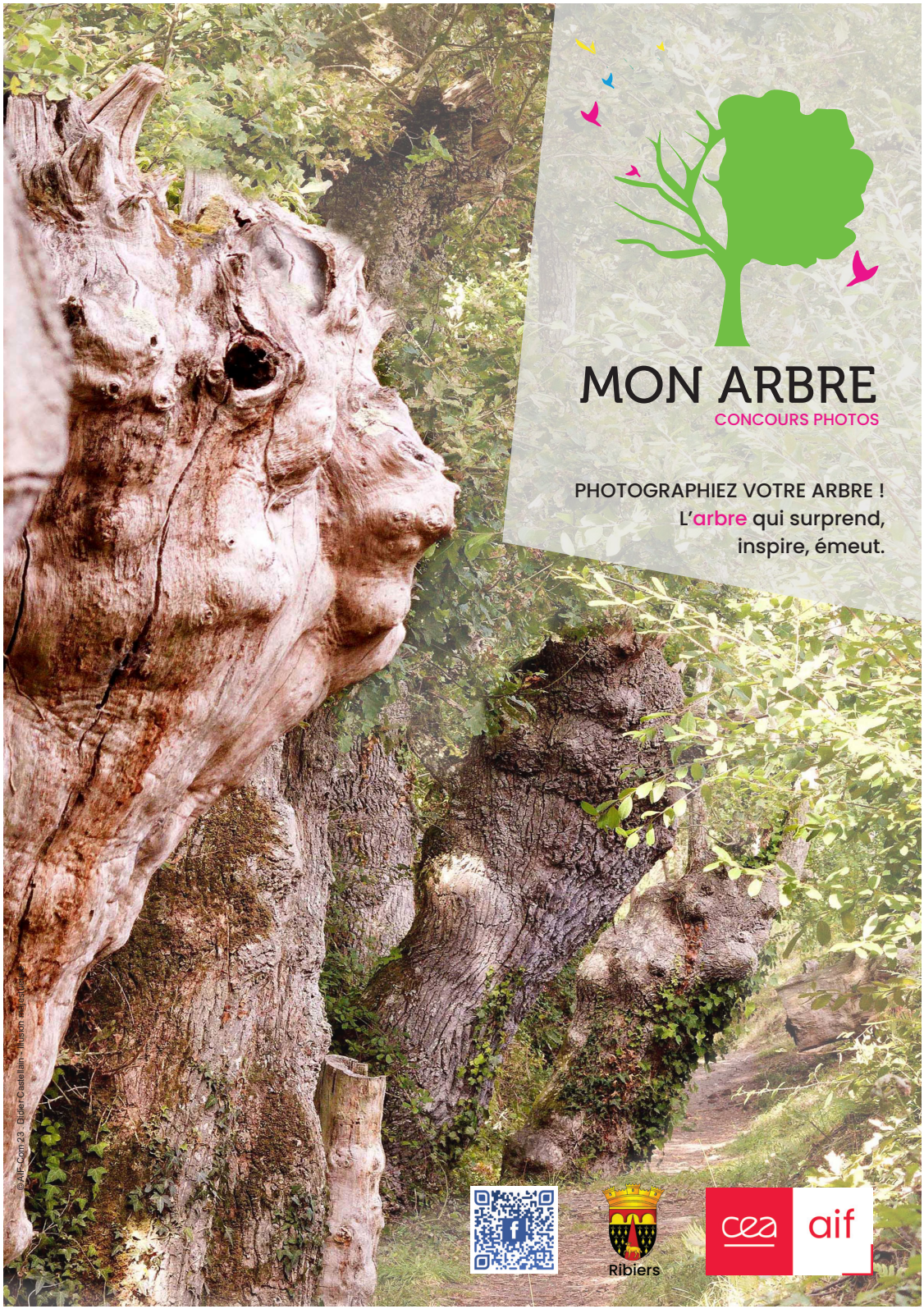
Depuis sa création en 2012, le concours ITER Robots contribue à inscrire les enjeux de robotique d'ITER dans une dimension ludique et pédagogique.

Comme les ateliers organisés dans le cadre des visites scolaires, les objectifs du challenge ITER Robots mobilisent plusieurs disciplines : sciences et techniques, linguistiques, communication, gestion de projet ... Durant près de six mois, les élèves s'impliquent dans la réalisation de ce projet d'équipe mêlant concepts théoriques, travaux pratiques et expérimentations pour relever les épreuves de robotique, de culture générale et de communication qui les attendent le jour de la finale.

Ce challenge est ouvert aux élèves des établissements de l'académie Aix-Marseille-Nice.

REJOIGNEZ-NOUS !

Plus d'infos : **www.itercadarache.cea.fr**


MON ARBRE
CONCOURS PHOTOS
PHOTOGRAPHIEZ VOTRE ARBRE !
L'arbre qui surprend,
inspire, émeut.
Ribiers
cea
aif