



**AMBASSADE
DE FRANCE
EN INDE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



NUCLÉAIRE CIVIL EN INDE

SITUATION ET PERSPECTIVES

Thomas MIEUSSET

Conseiller nucléaire

THOMAS.MIEUSSET@DIPLMATIE.GOUV.FR

Février 2023



**AMBASSADE
DE FRANCE
EN INDE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

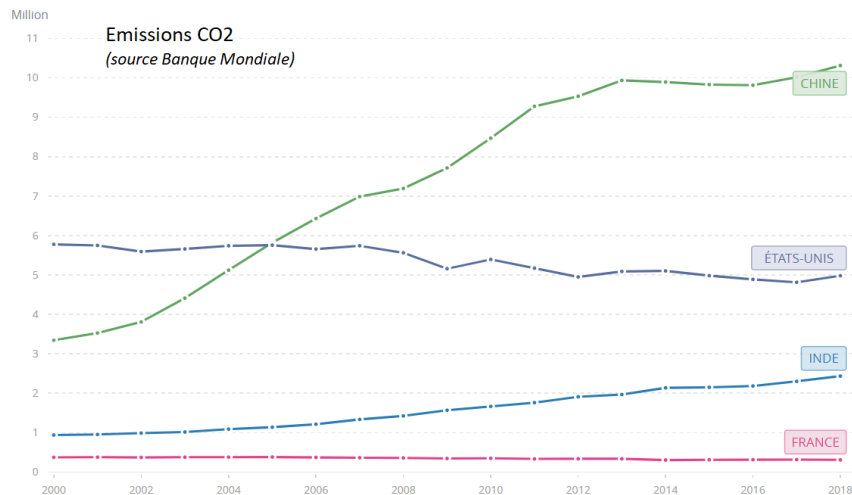
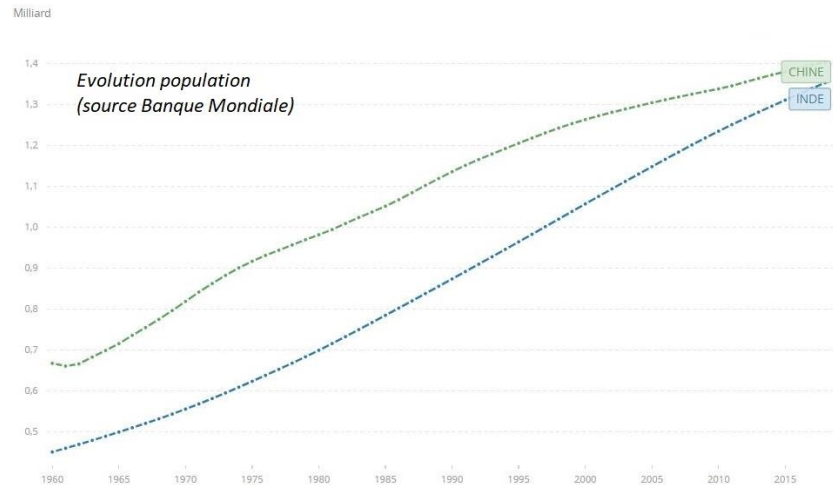
- **Contexte général - neutralité carbone (en 2070)**
- Organisation et acteurs de la filière nucléaire
- Programme national / cycle du combustible
- SMR & nouveaux acteurs
- Applications non électrogènes



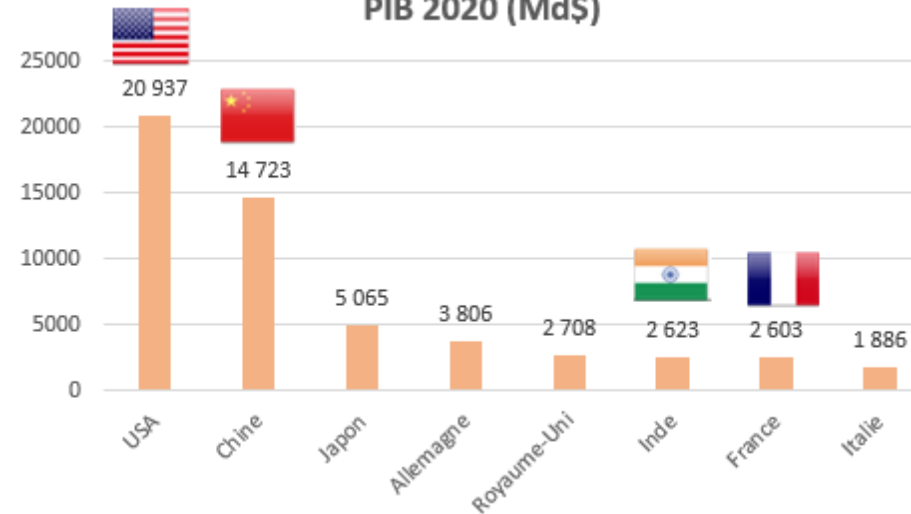
**AMBASSADE
DE FRANCE
EN INDE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Contexte général



PIB 2020 (Md\$)



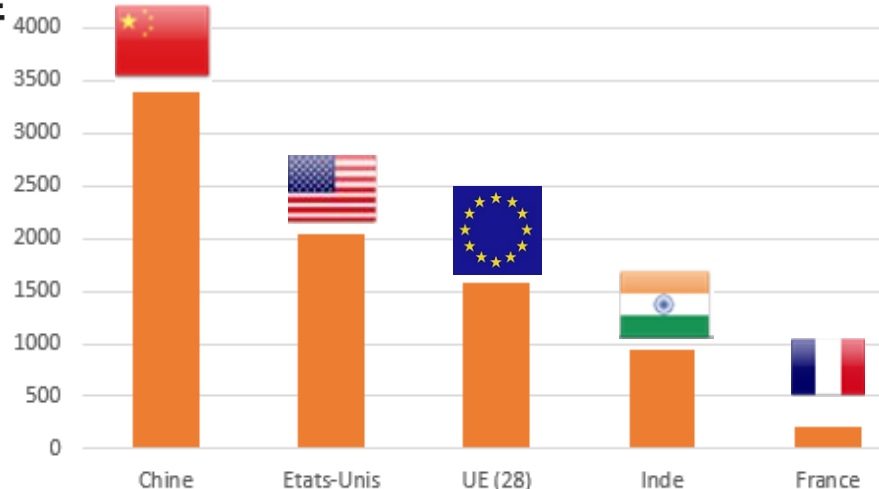
Long chemin vers la neutralité carbone (2070)...



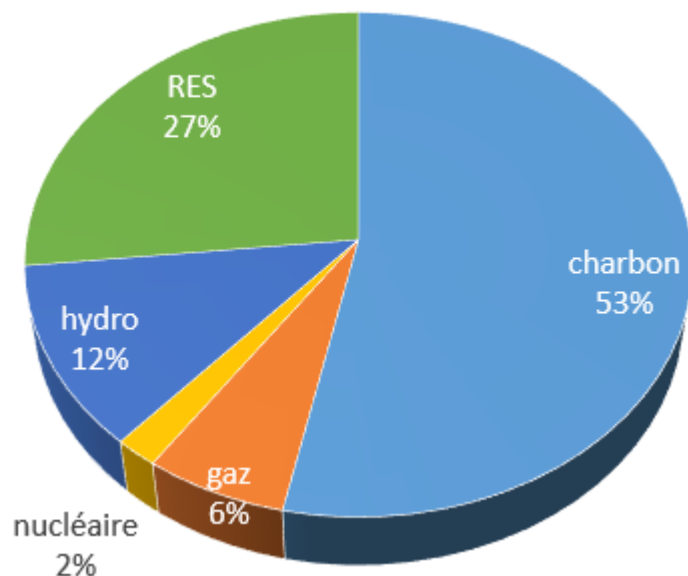
**AMBASSADE
DE FRAN
EN INDE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

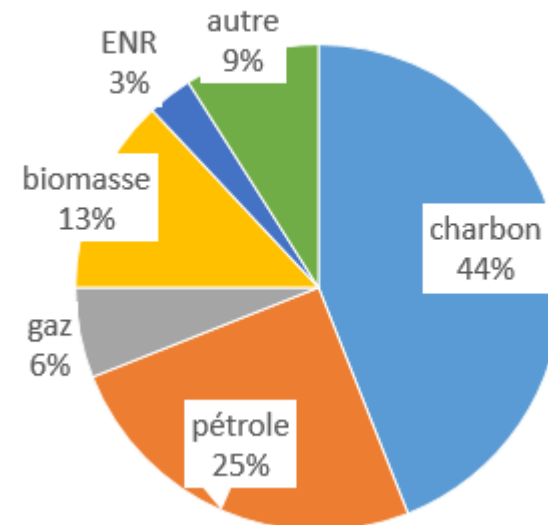
demande totale Mtoe (OCDE 2019)



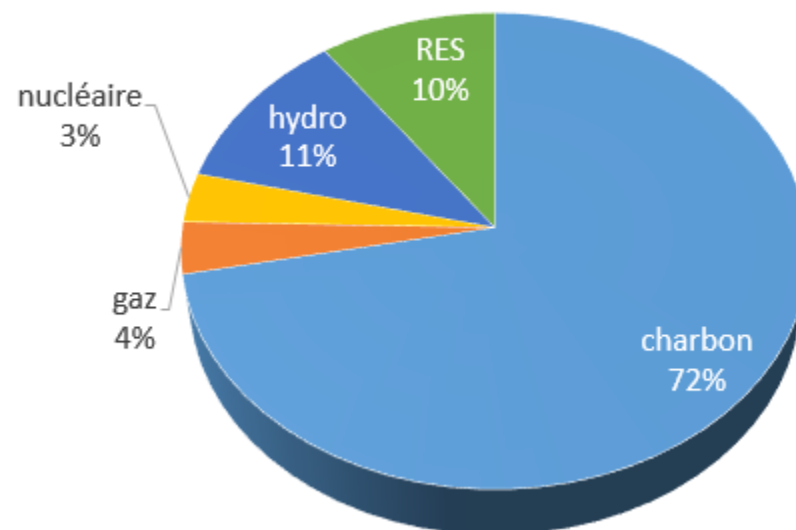
Capacité installée totale 394.1 Gwe



Demande énergie primaire 2020 (AIE 2021)



Production électricité (2019-2020) = 1383,4 TWh





**AMBASSADE
DE FRANCE
EN INDE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

- Contexte général - neutralité carbone (en 2070)
- **Organisation et acteurs de la filière nucléaire**
- Programme national / cycle du combustible
- SMR & nouveaux acteurs
- Applications non électrogènes



AMBASSADE
DE FRANCE •
EN INDE

Liberté
Égalité
Fraternité

Nucléaire : organisation et acteurs

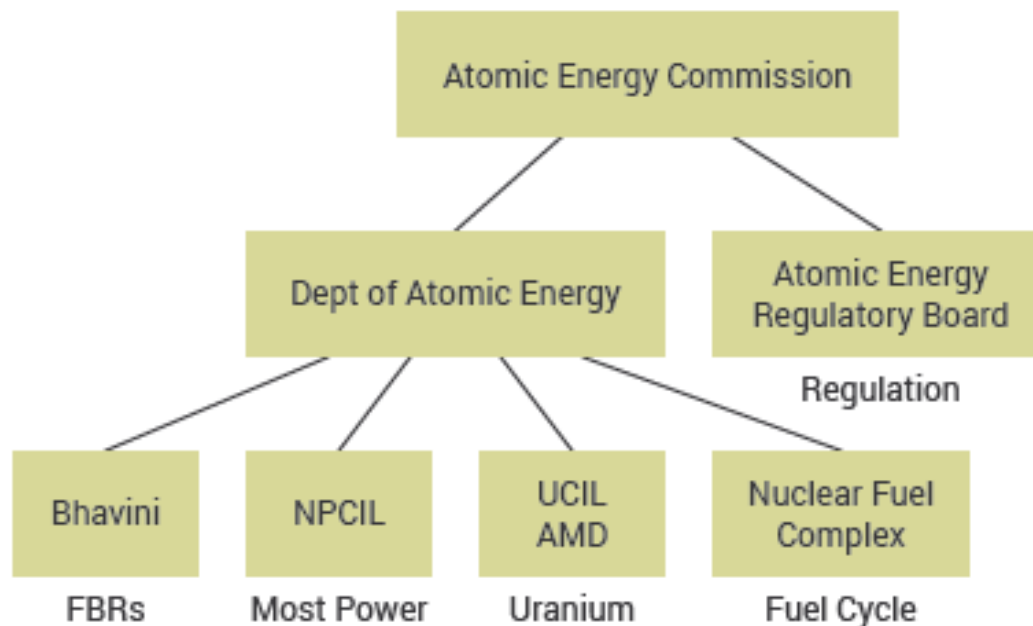


Programme ambitieux lancé dans les années 50

- 1945: création du Tata Institute of Fundamental Research (TIFR) (Dr. H. Bhabha)
- 1948: création de l'Indian Atomic Energy Commission
- 1954: création du Department of Atomic Energy (DAE)
- Années 50-60: coopérations Etats-Unis, France, Canada
- 2008: signature AIG (Etats-Unis, France, Russie, Canada, Corée du Sud, Australie, Japon)

- **Système centralisé – sous responsabilité directe du Premier Ministre indien**

India Structure



TATA CONSULTING ENGINEERS LIMITED



**AMBASSADE
DE FRANCE
EN INDE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

- Contexte général - neutralité carbone (en 2070)
- Organisation et acteurs de la filière nucléaire
- **Programme national / cycle du combustible**
- SMR & nouveaux acteurs
- Applications non électrogènes



AMBASSADE
DE FRANCE
EN INDE

Liberté
Égalité
Fraternité

Programme en 3 phases

- Objectif de pleine autonomie avec fermeture cycle

Réacteurs à eau
lourde pressurisée

PHWR (+REP)

Uranium naturel

Surgénérateurs

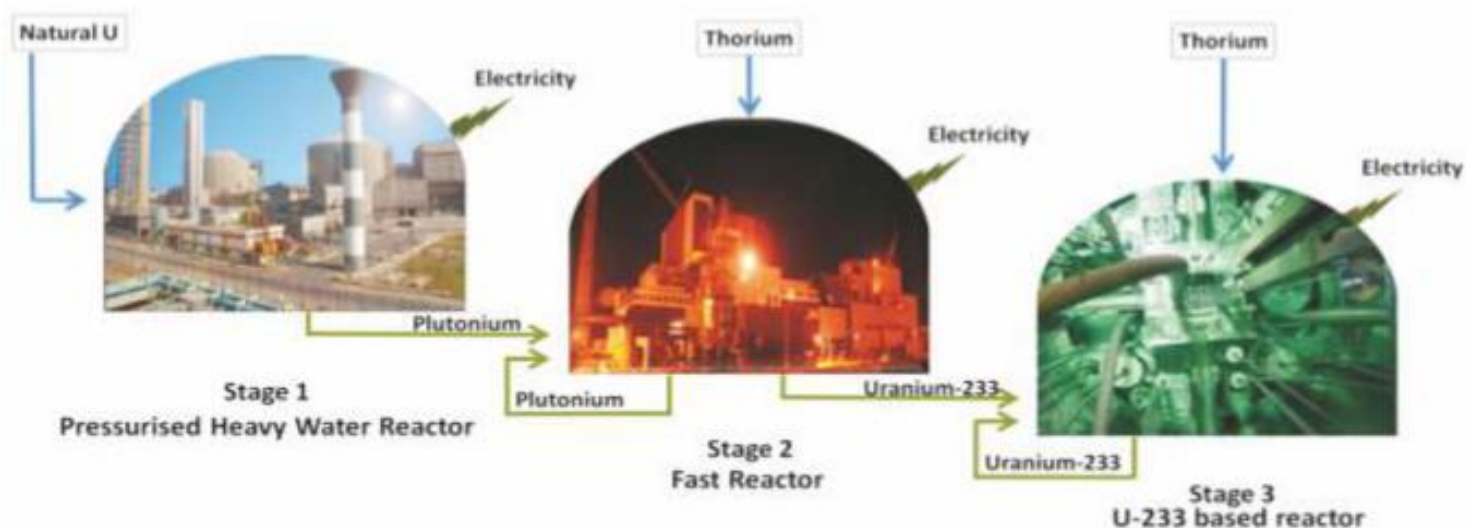
FBR

Mox

Réacteur avancé à
eau lourde

AHWR

Thorium / U233





AMBASSADE
DE FRANCE
EN INDE

Liberté
Égalité
Fraternité



Programme en 3 phases : phase 1

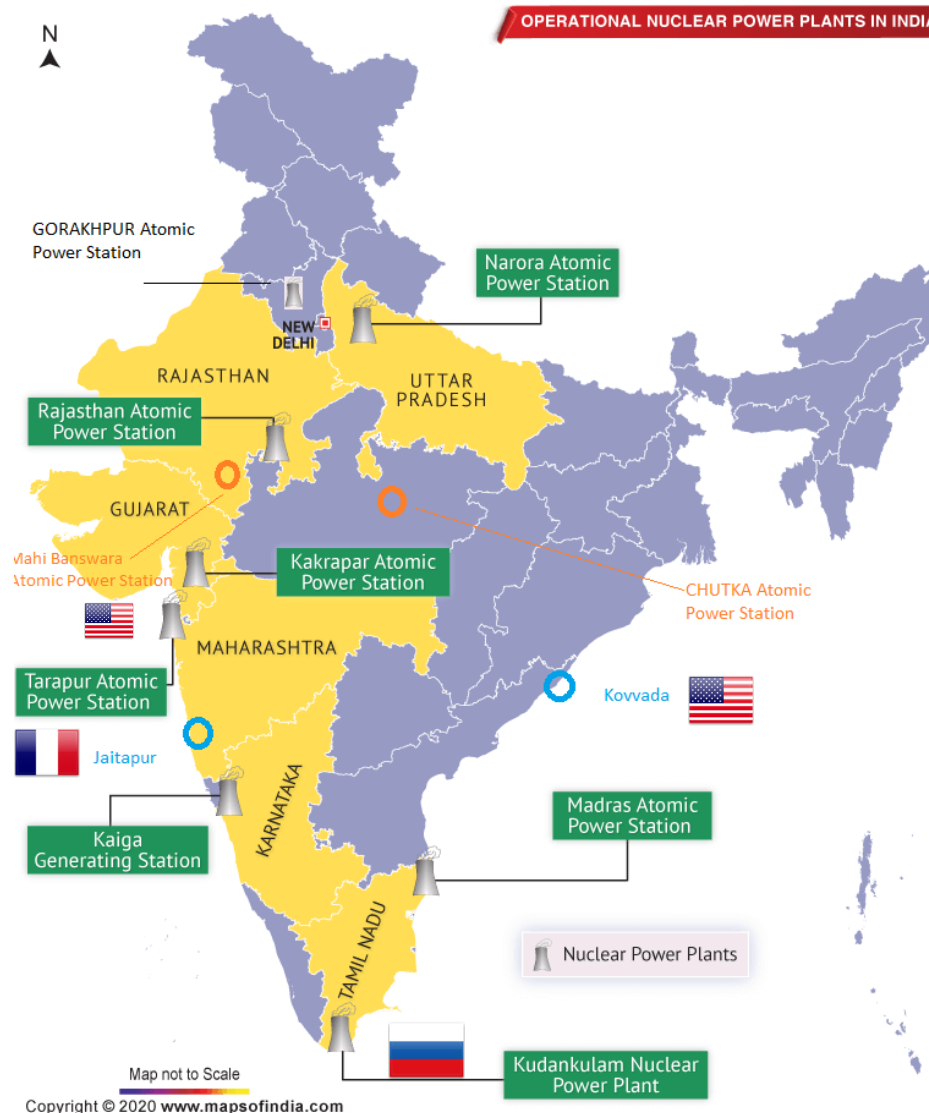
23 réacteurs en exploitation – 7.48 GWe

Nom	Cap installée (MW)	Technologie
Tarapur 1,2,3,4	2x160 2x540	BWR PHWR
Rajasthan 1,2,3,4,5,6	1x100 1x200 4x220	PHWR
Kudankulam 1,2	2x1,000	VVER
Kaiga 1,2,3,4	4x220	PWHR
Kakrapar 1,2,3	2x220 1x700	PWHR
Madras 1,2	2x220	PHWR
Narora 1,2	2x220	PHWR

10 réacteurs en construction – 8.0 GWe

Nom	Cap installée (MW)	Technologie
Rajasthan 7,8	2x700	PHWR
Kakrapar 4	1x700	PHWR
Kudankulam 3,4,5,6	4x1000	VVER
Kalpakkam	500	PFBR
Gorakhpur 1,2	2x700	PHWR

10 réacteurs « sanctioned » – 7.0 GWe





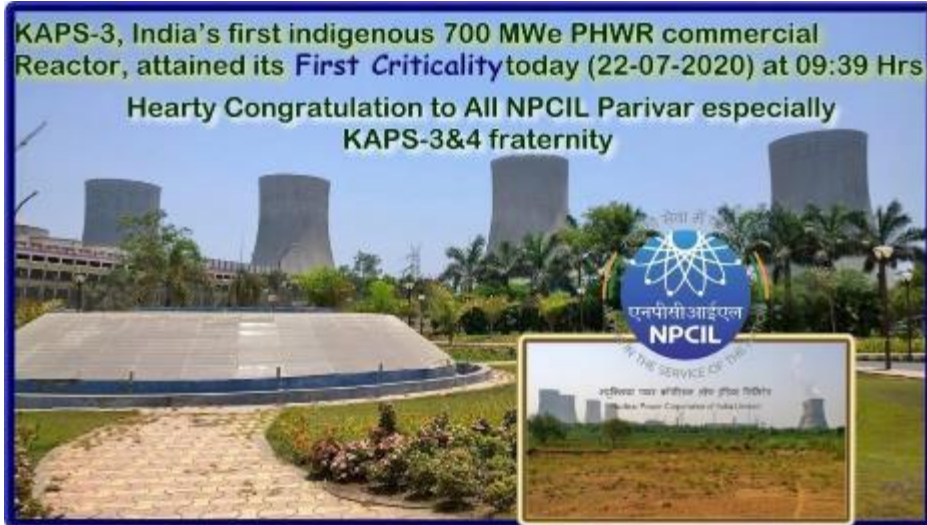
AMBASSADE
DE FRANCE
EN INDE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Programme en 3 phases - phase 1 : technologie nationale

**Objectif de démarrer un réacteur par an pour
atteindre 22.5 Gwe à l'horizon 2030**

2020: divergence du premier PHWR de 700 MWe



Narendra Modi ✓
@narendramodi

Congratulations to our nuclear scientists for achieving criticality of Kakrapar Atomic Power Plant-3! This indigenously designed 700 MWe KAPP-3 reactor is a shining example of Make in India. And a trailblazer for many such future achievements!

10:15 AM · 22 juil. 2020 · [Twitter for iPhone](#)

24,8 k Retweets avec un commentaire **160,9 k** J'aime



AMBASSADE
DE FRANCE
EN INDE

Liberté
Égalité
1

Programme en 3 phases - phase 1 : technologies étrangères

Réacteurs de technologies étrangères en exploitation / construction

GE 

2 BWR en exploitation
depuis 1969
site de Tarapur



Rosatom 

2 VVER-1000 en exploitation depuis 2014 & 2017
4 VVER-1000 en construction
Site de Kudankulam



Négociations en cours de gré à gré avec l'électricien NPCIL

EDF 

fourniture 6 EPR
Site de Jaitapur

Westinghouse 

fourniture 6 AP1000
Site de Kovvada

Rosatom 

fourniture 6 VVER-1200
Site à définir



**AMBASSADE
DE FRANCE
EN INDE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Programme en 3 phases - phase 1 : technologies étrangères

- **Kudankulam 5-6 (VVER-1000) – début construction**



ThePrint Essential

Work starts on 5th unit of Kudankulam nuclear plant — a major milestone for power sector

Kudankulam, a flagship Indo-Russian energy project, along of which two are already active.

THE ECONOMIC TIMES | News
English Edition | E-Paper

Sign In

Great Diwali Offer

Home ETPrime Markets **News** Industry RISE Politics Wealth MF Tech Jobs Opinion NRI Panache ET NOW More

India Decoded Web Stories Morning Brief Podcast Economy Industry Politics Company Defence International More

Business News > News > India > Russia begins construction of fifth unit of Kudankulam Nuclear Power Plant

**India-Russia nuclear energy cool
construction of Kudankulam NPI**

By: Huma Siddiqui | Updated: June 29, 2021 3:09 PM

**Russia begins construction of fifth unit of
Kudankulam Nuclear Power Plant**



AMBASSADE
DE FRANCE
EN INDE

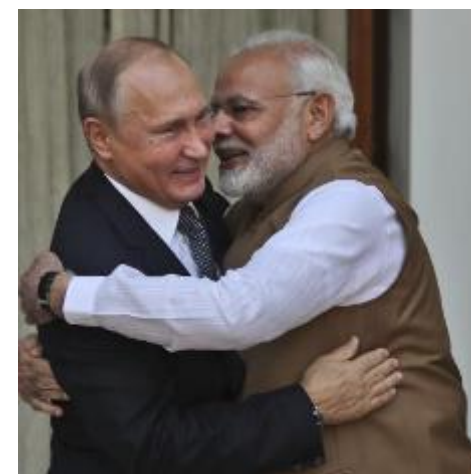
*Liberté
Égalité
Fraternité*

Programme en 3 phases - phase 1 : technologies étrangères



PMO India
@PMOIndia

Productive discussions between PM [@narendramodi](#) and President [@EmmanuelMacron](#) on the sidelines of the [@g20org](#) Summit. India and France are cooperating extensively in various sectors. Today's talks will add momentum to the bilateral ties between the two nations.





AMBASSADE
DE FRANCE
EN INDE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Programme en 3 phases : phase 2

- **Réacteurs à neutrons rapides**

- PFBR - Prototype Fast Breeder Reactor (500 Mwe)
- Exploitant : Bharatiya Nabhikiya Vidyut Nigam Limited (BHAVINI)
- Projet lancé en 2003 avec une mise en service prévue fin 2023 – début 2024 (initialement prévue en 2010)
- Objectif d'une flotte de 6 réacteurs





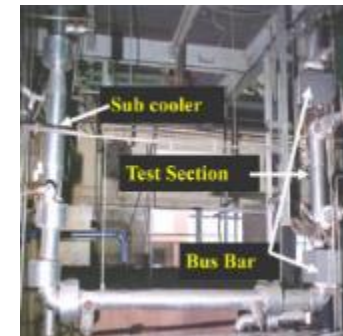
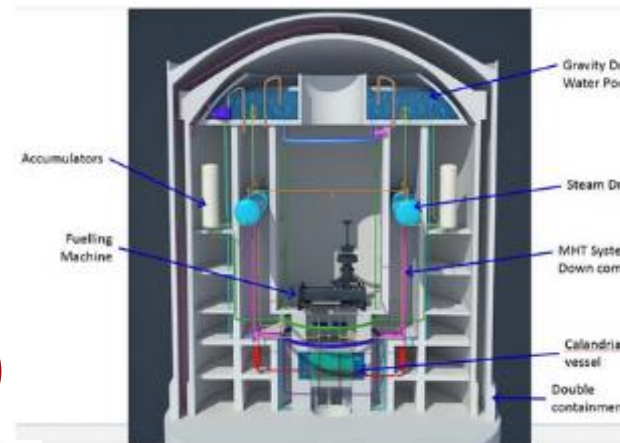
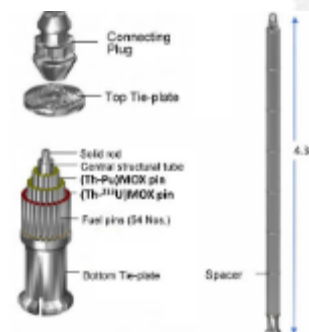
AMBASSADE
DE FRANCE
EN INDE

Liberté
Égalité
Fraternité

Programme en 3 phases : phase 3

• Advanced Heavy Water Reactor (AHWR) – 300 Mwe

- Conception indienne (DAE/BARC)
- Combustible : (Th, ^{233}U)MOX / (Th, Pu)
- Sûreté passive
- Durée exploitation : 100 ans



- Travaux préliminaires - Indian Molten Salt Breeder Reactor (IMSBR)
 - 5 MWth
 - Mise en place Molten Salt Breeder Reactor Developmental Facility (MSBRDF)
- Travaux préliminaires - Innovative High Temperature Reactor (IHTR)
 - 20 MWth
 - Combustible TRISO



AMBASSADE
DE FRANCE
EN INDE

Liberté
Égalité
Fraternité

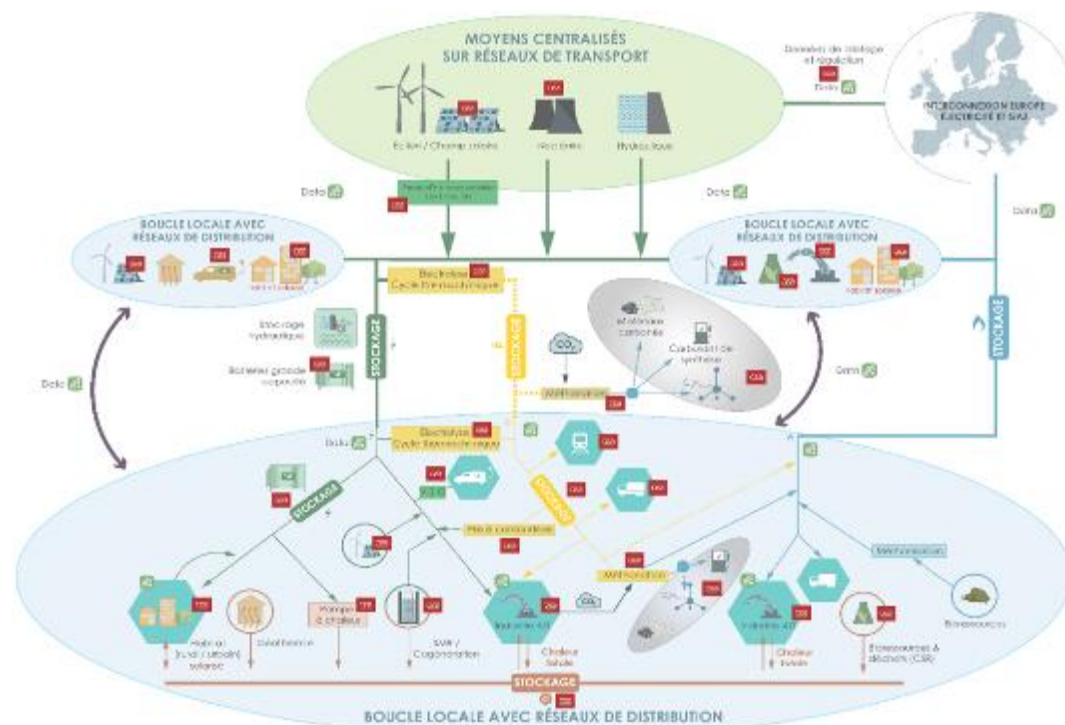
Programme en 3 phases: défis à moyen terme

Intégration de l'électronucléaire dans un marché en profonde mutation

➔ Intérêt d'interlocuteurs
(industriels, politiques...)

taxonomie verte,
green bonds...

calcul coût
global de
l'électricité...





AMBASSADE
DE FRANCE
EN INDE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Cycle du combustible

• Stratégie de cycle fermé / multi-recyclage Pu

- Optimisation des ressources
-  volume des déchets ultimes

• Installations / aval du cycle du combustible

Plutonium Plant

1964

Trombay

- 60 t/an
- PUREX
- CU des réacteurs de recherche



PREFRE-1

1975

Tarapur

- Power REactor Fuel REprocessing Plant
- 100 t/an (extension en 1990)
- CU PHWR
- Remplacé par PREFRE-2



KARP

1998

Kalpakkam

- Kalpakkam Atomic Reprocessing Plant
- 100 t/an
- CU PHWR
- → KARP-II (PREFRE-3A)

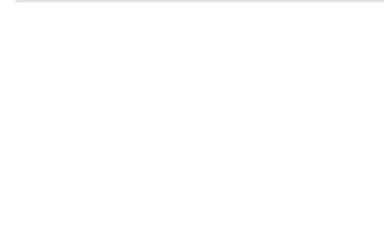


PREFRE-2

2011

Tarapur

- 100 t/an
- CU PHWR





**AMBASSADE
DE FRANCE
EN INDE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Cycle du combustible : vitrification

Waste Immobilization System (WIP)

1990

Tarapur

Déchets issus
de PREFRE-1

Induction
Heated
Metallic
Melter
(IHMM)

WIP

2002

Trombay

Déchets des
réacteurs de
recherche

Induction
Heated
Metallic
Melter
(IHMM)

Advanced Vitrification System (AVS)

2007

Tarapur

Joule Heated
Ceramic
Melter

WIP

Kalpakkam

2013

Joule Heated
Ceramic
Melter





AMBASSADE
DE FRANCE
EN INDE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Cycle du combustible : entreposage - stockage

Vitrified Waste Storage Facility (VWSF)

2020

Kalpakkam

Entreposage



Solid Storage and Surveillance Facility (SSSF)

Tarapur

Entreposage



Stockage géologique

Études
préliminaires
identification site
(zone granitique)

Cadre
réglementaire peu
détaillé
*(reprise AIEA ou
réglementation US)*





AMBASSADE
DE FRANCE
EN INDE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Spécificités du marché

- **Responsabilité civile nucléaire**
 - Sept. 2010 : Civil Liability for Nuclear Damage (CLND) Act
 - Fév. 2016 : Convention on Supplementary Compensation for Nuclear Damage
- **Contrôle des exportations / biens à double usage**
 - 2008 : Nuclear Supplier Group (NSG) accorde une exemption à l'Inde
 - Applicable pour installations sous garanties AIEA / licences d'exportation
- **11 réacteurs PHWR sous garanties AIEA**
 - Engagement que tout futur réacteur de puissance soit placé sous garanties



**AMBASSADE
DE FRANCE
EN INDE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Participation aux programmes internationaux

Membre du consortium ITER (fourniture de composants dont cryostat)



PM Modi congratulates ITER members, says India proud to be part of global enterprise

TIMESOFINDIA.COM / Jul 29, 2020, 21:11 IST





**AMBASSADE
DE FRANCE
EN INDE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

- Contexte général - neutralité carbone (en 2070)
- Organisation et acteurs de la filière nucléaire
- Programme national / cycle du combustible
- **SMR & nouveaux acteurs**
- Applications non électrogènes



AMBASSADE
DE FRANCE
EN INDE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

SMR – Small Modular Reactors

- **Veille sur projets internationaux**
- **Intérêt du Gouvernement et de nouveaux acteurs** (promesse d'investissements initiaux plus faibles...)
- **Accélérer le développement du parc nucléaire**
- **Possibles applications spécifiques** (territoires éloignés du réseau, remplacement de centrales thermiques...)



AMBASSADE
DE FRANCE
EN INDE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Participation de nouveaux acteurs

- **JV constitués ou en discussion entre électricien nucléaire NPCIL et nouveaux acteurs (dont NTPC)**
- **NTPC** (plus grand électricien indien avec 70 Gwe installés dont 90% thermique)
 - ➔ participation à 2-4 projets de réacteurs PHWR
 - Réflexion sur PWR
 - Réflexion sur SMR (remplacement des centrales thermiques)
- **Volonté du Gouvernement d'attirer des investisseurs / entreprises sur des projets nucléaires**
- **Possibles interfaces avec autres secteurs (production d'H2 décarboné...)**



**AMBASSADE
DE FRANCE
EN INDE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

- Contexte général - neutralité carbone (en 2070)
- Organisation et acteurs de la filière nucléaire
- Programme national / cycle du combustible
- SMR & nouveaux acteurs
- **Applications non électrogènes**

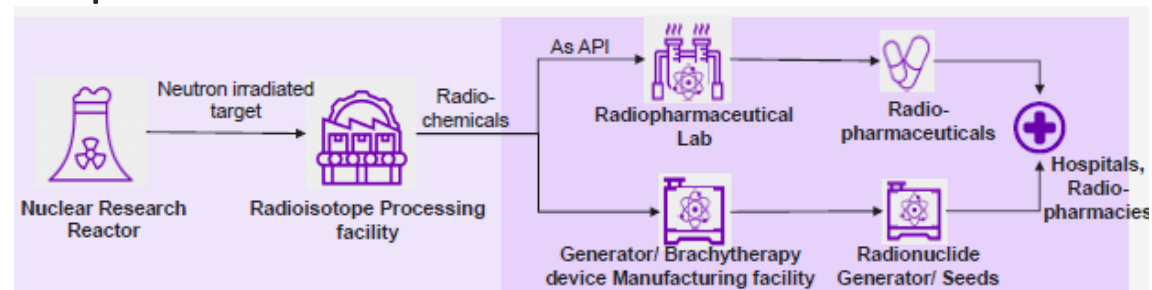


AMBASSADE
DE FRANCE
EN INDE

Liberté
Égalité
Fraternité

Applications non électrogènes du nucléaire

• **Applications médicales** - réacteur de production de radio-isotopes (détection, traitement cancer...) – premier partenariat public / privé pour la filière nucléaire



- Recherche technologique, préservation aliments...

Atomic Research facility IGCAR to transfer spin-off tech to start-ups, industries

The Centre Director said that these spin-off technologies that were developed over the last decade were ready to be transferred to start-ups and industries.

IGCAR scientists develop 'breakthrough' technology for paint, water and other industries

The technology could be used in identifying the quality of groundwater as well as seawater, thus benefiting water managers and environmentalists also, said Prabhakar Rao



Technologies Available for Transfer
Shelf stable strawberry fruit pulp based product
Technology developed at BARC



Présence française



AMBASSADE
DE FRANCE
EN INDE

Liberté
Égalité
Fraternité



framatome





AMBASSADE
DE FRANCE
EN INDE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Perspectives

- ❖ **Défis pour atteindre la neutralité carbone en 2070**
 - ✓ Répondre à la future hausse des besoins
 - ✓ Ambitieux programme de développement du solaire
 - ✓ Réduire la place du charbon
 - ✓ Hydrogène (production et applications)

- ❖ **Volonté de développer le parc électronucléaire**
 - ✓ ~24 GWe à l'horizon 2030
 - ✓ Choix du cycle fermé (optimisation des ressources)
 - ✓ PHWR, RNR, REP, SMR

**AatmaNirbhar
Bharat Abhiyan**

**my
GOV**
मेरी सरकार





**AMBASSADE
DE FRANCE
EN INDE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



TARAPUR 1&2, MS BWR



TARAPUR 3&4, MS



RAWATBHATA, RAJ



MADRAS, TN



NARORA, UP



KAKRAPARA, GUJARAT



KAIGA, KARNATAKA



KUDANKULAM, TN



**AMBASSADE
DE FRANCE
EN INDE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



KK 3&4 (2X1000MW VVER)



PFBR (500 MW) BHAVINI



KAPP 3&4 (2X700MW PHWR)



RAPP 7&8 (2X700MW PHWR)