

**IRSN**

INSTITUT  
DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

*Faire avancer la sûreté nucléaire*

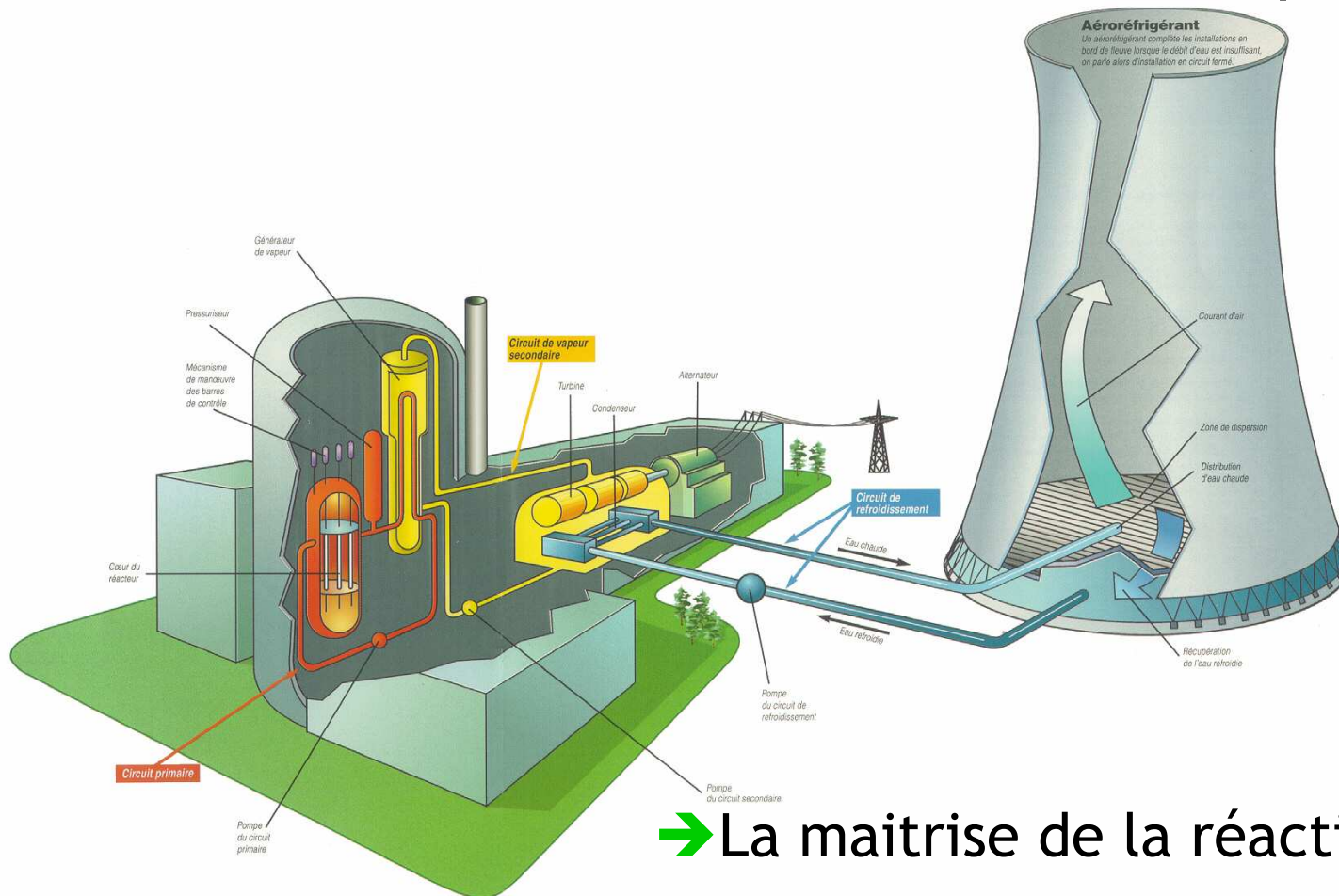
# La perte des systèmes de refroidissement La perte des alimentations électriques

Séminaire IRSN / ANCCLI du 14  
septembre 2011

Pascal QUENTIN  
IRSN - Direction de la sûreté des réacteurs



# Trois fonctions de sûreté à assurer en permanence



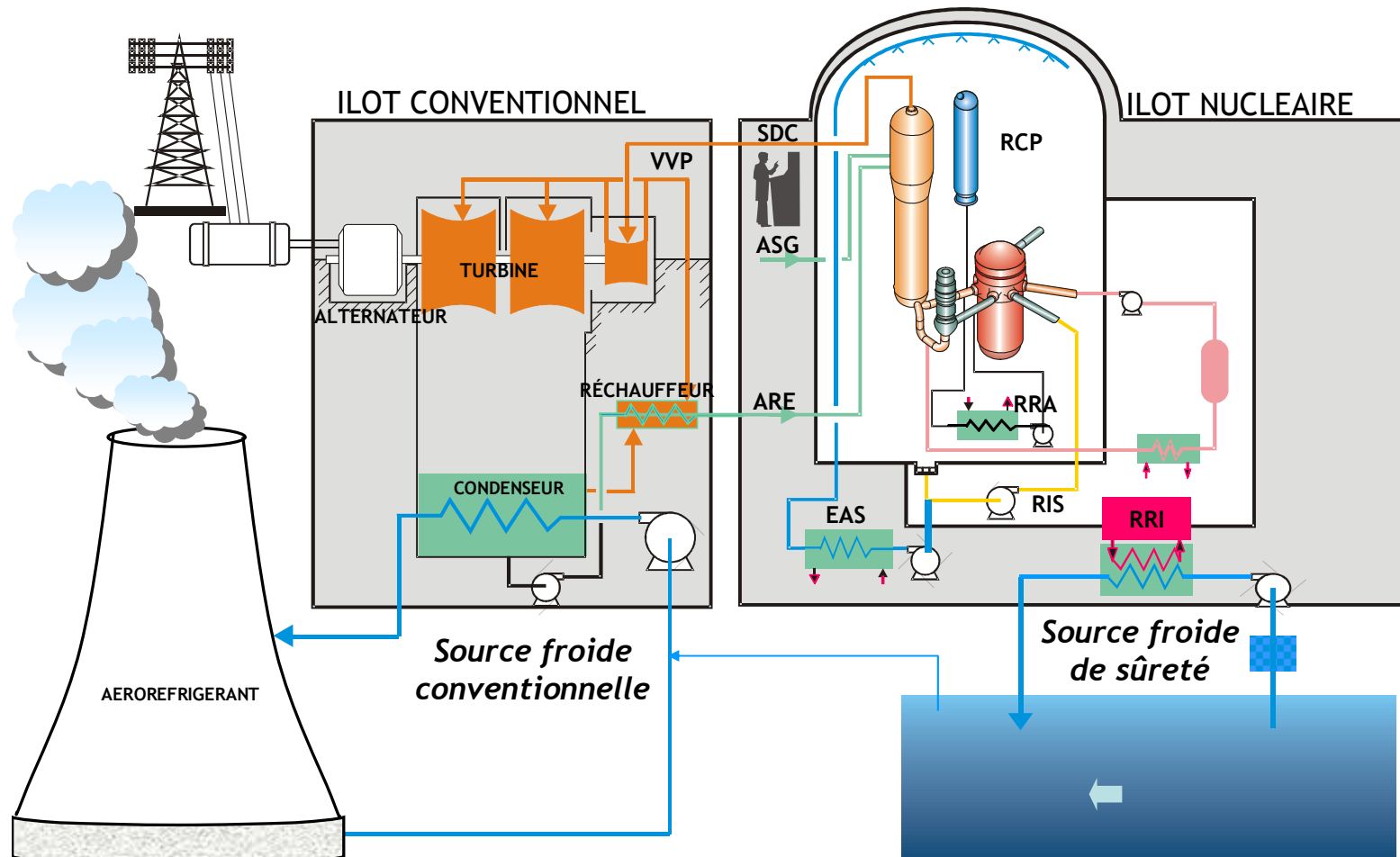
- La maîtrise de la réaction nucléaire
- Le confinement de la radioactivité
- L'évacuation de la puissance

# La perte des systèmes de refroidissement

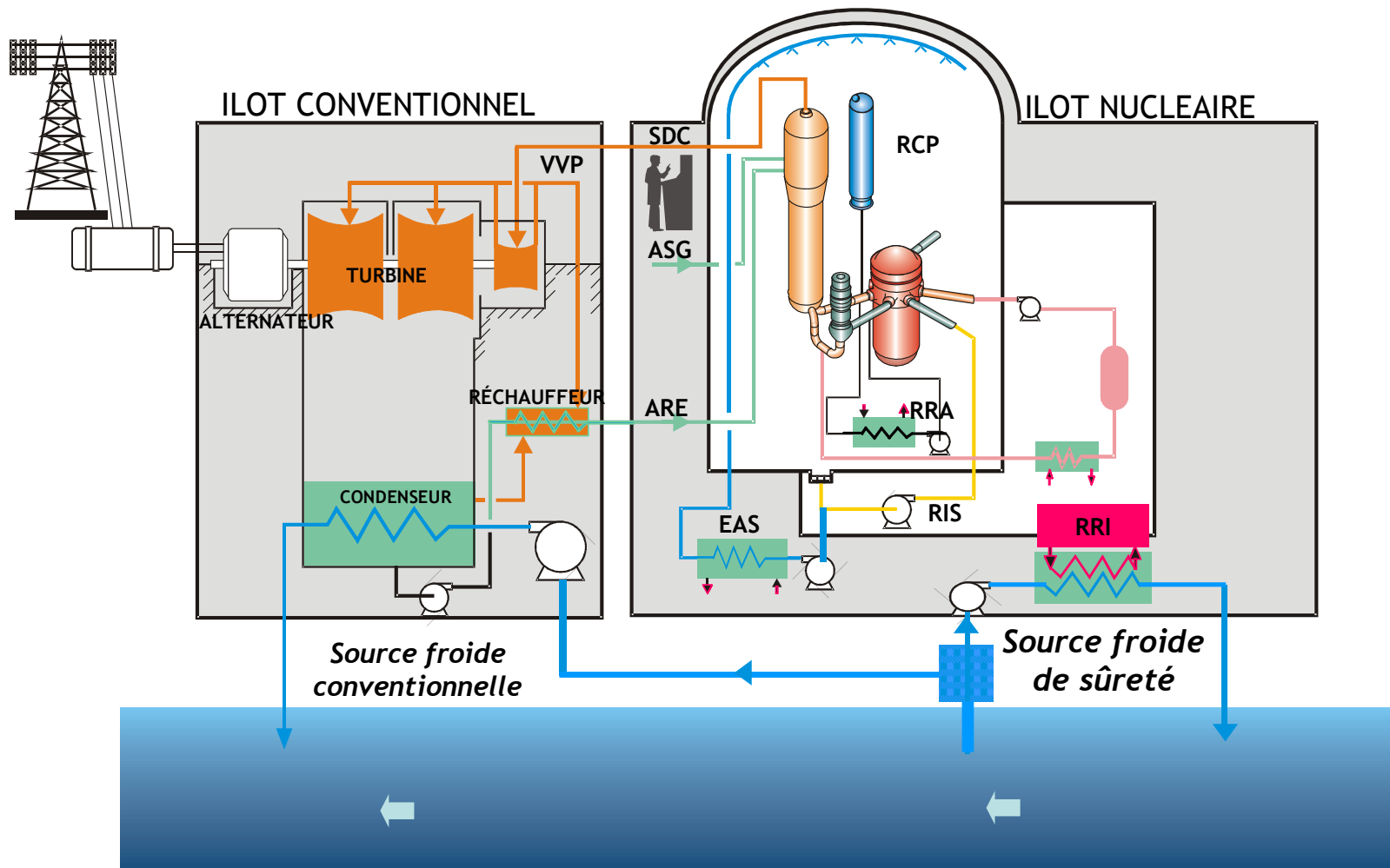
Les systèmes de refroidissement

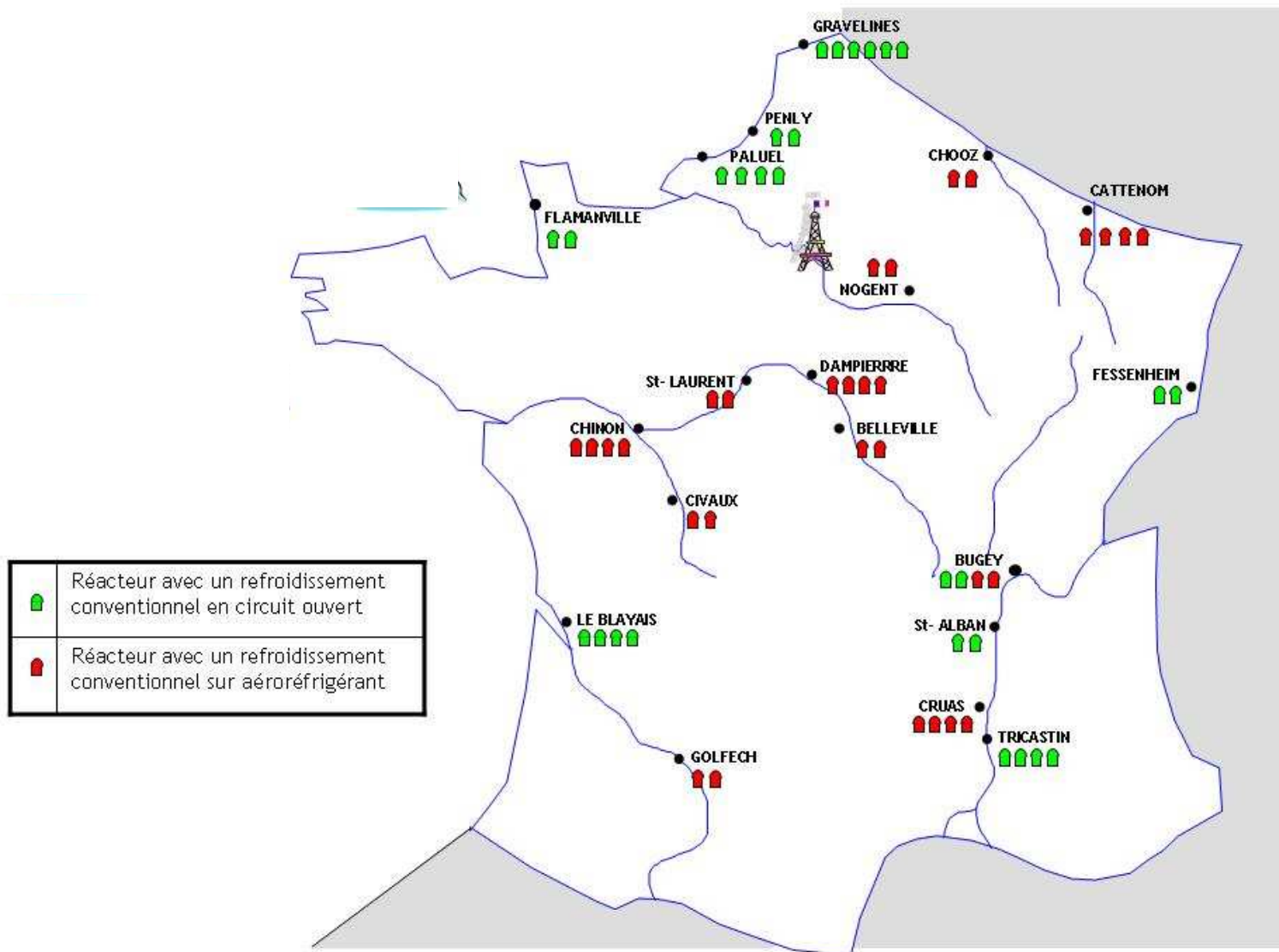
La perte des systèmes de refroidissement

# Refroidissement en circuit fermé



# Refroidissement en circuit ouvert





Le refroidissement de la centrale doit être assuré dans toutes les situations de fonctionnement.

Pour assurer cette mission, il utilise une source froide : l'eau de mer ou l'eau de rivière selon l'implantation géographique de la centrale.

Il est composé de deux installations indépendantes :

- **le refroidissement des systèmes importants pour la sûreté**, également appelé *source froide de sûreté*.
- **le refroidissement de la partie conventionnelle**, également appelé *source froide conventionnelle*.

Cette conception, avec un circuit de refroidissement intermédiaire entre les fluides radioactifs et l'eau rejetée à l'extérieur de la centrale, répond au concept de défense en profondeur appliqué au confinement des produits radioactifs.

# Le refroidissement des systèmes importants pour la sûreté

- Un circuit intermédiaire (RRI) a pour fonction de refroidir les éléments et systèmes implantés dans l'îlot nucléaire ou les locaux électriques et les systèmes de sauvegarde : injection de sécurité (RIS) et aspersion dans l'enceinte (EAS) (à l'exception du site de Fessenheim).
- Il est conçu **en circuit ouvert** sur la mer ou la rivière (à une exception près, le site de Civaux qui comporte une source froide de sûreté en circuit fermé avec des aéroréfrigérants spécifiques).
- L'eau est directement prélevée au niveau d'une prise d'eau (canal d'amenée, galeries d'amenée). Après filtration, elle est acheminée par des pompes jusqu'aux échangeurs qui refroidissent le circuit RRI, puis elle est évacuée par des installations de décharge (bassin, conduites).



# Perte des systèmes de refroidissement

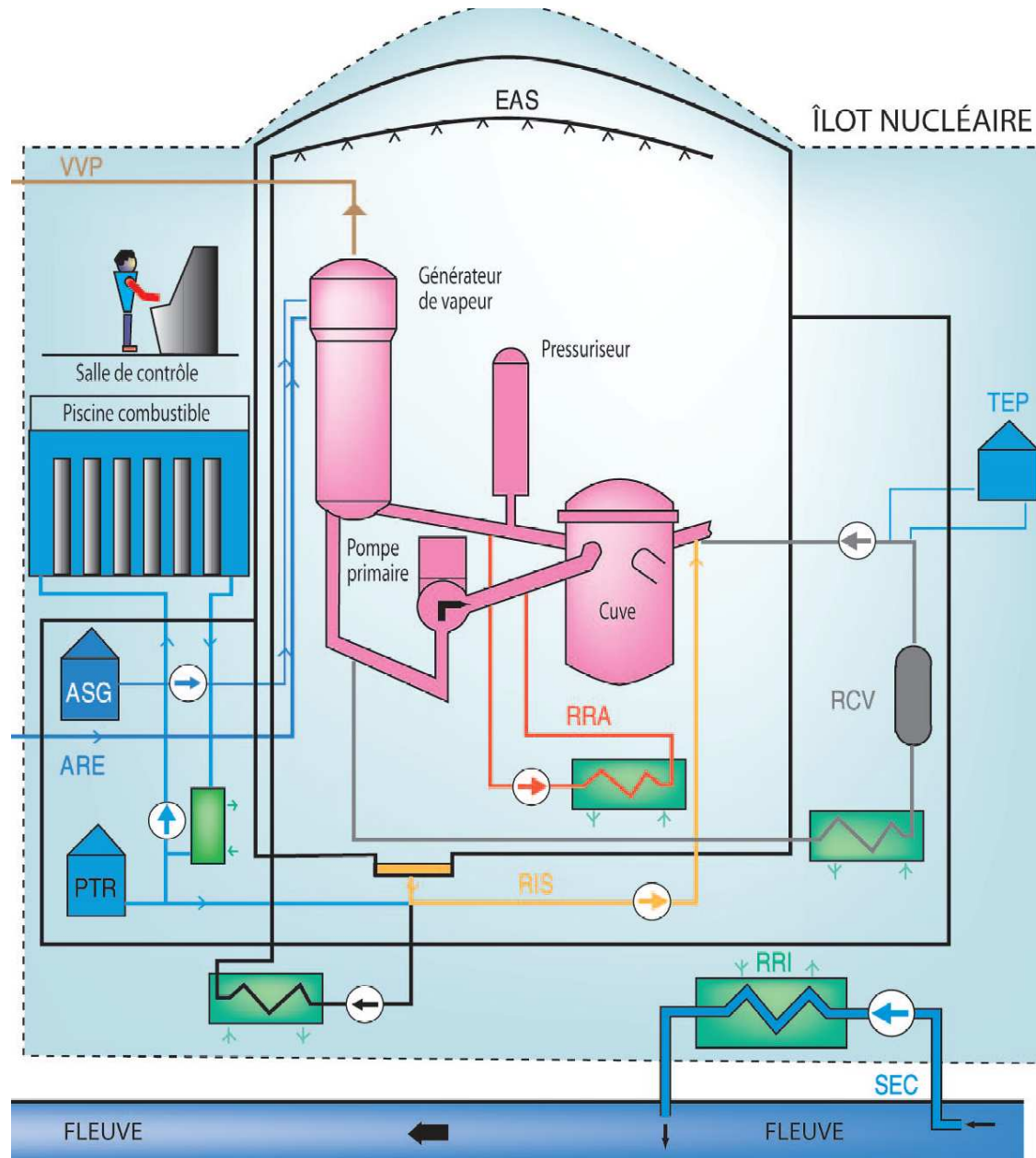
- Après un arrêt d'urgence, le refroidissement du réacteur reste indispensable :
  - Le réacteur est chaud et en pression
  - Il faut évacuer la chaleur résiduelle résultant de la décroissance des produits radioactifs présents dans le cœur (notamment les PF).
  
- Le combustible utilisé présent dans les piscines doit aussi continuer à être refroidi.
  
- D'où la nécessité de :
  1. maintenir une circulation d'eau dans le réacteur/les piscines
  2. refroidir l'eau qui circule dans le réacteur / les piscines
  3. assurer ces deux fonctions sur le long terme.

# Perte des systèmes de refroidissement

■ La fonction refroidissement fait appel à un grand nombre de systèmes :

- Des systèmes ouverts non secourus,
- Des circuits auxiliaires redondants et secourus,
- Des systèmes de sauvegarde utilisés en cas de brèche,
- Des réserves d'eau de capacité suffisante pour permettre le retour de l'installation dans un état sûr.

■ Des systèmes électriques sont nécessaires pour assurer le bon fonctionnement et la surveillance du refroidissement.



# Pertes de refroidissement (H1 et H2)

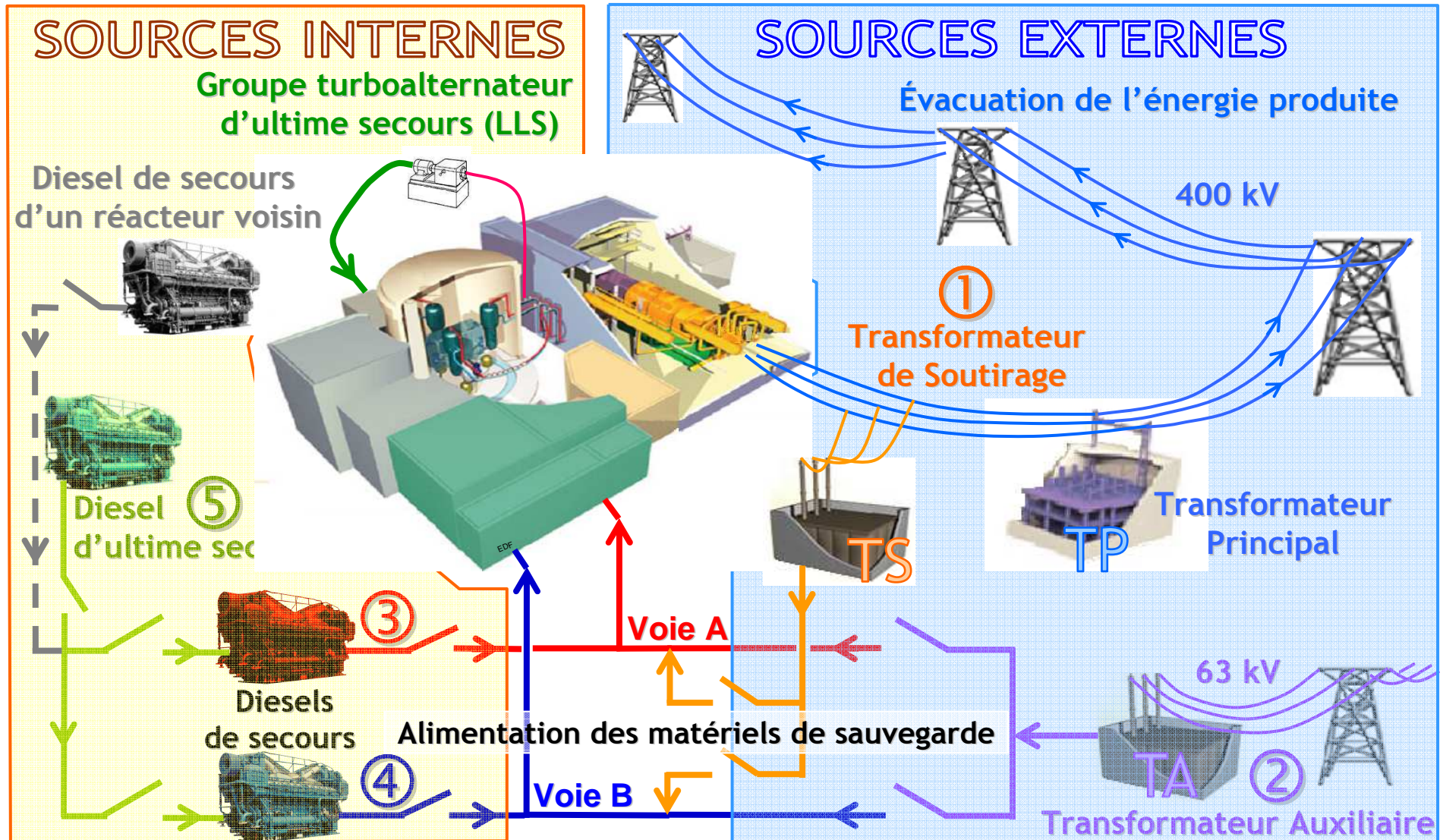
- Depuis 1980, les pertes de refroidissement ont été largement étudiées :
  - Les études probabilistes (situations hors dimensionnement H),
  - Le retour d'expérience,
  - Les réexamens de sûreté.
- Elles ont fait l'objet d'améliorations ou de dispositions correctives, au titre du retour d'expérience, et notamment lors des réexamens de sûreté.
- Les procédures actuelles permettent de couvrir des pertes de refroidissement limitées à quelques jours. Au-delà, on considère que les recours existants ont été épuisés et c'est l'organisation de crise qui doit traiter.

# La perte des alimentations électriques

Les alimentations électriques externes et internes

La perte totale des alimentations électriques

# Les alimentations électriques



# Perte des alimentations électriques

- En toute situation, des alimentations électriques sont nécessaires au fonctionnement et à la surveillance des systèmes utilisés pour le refroidissement du combustible dans le réacteur ou les piscines.
  
- La perte des alimentations électriques externes fait partie des scénarios probables. Pour y faire face, les moyens suivants sont installés sur les sites:
  - Une ligne auxiliaire,
  - Des sources internes ‘autonomes’ diversifiées : groupes électrogènes de secours à moteur diesel, batteries,
  - Une ou plusieurs turbopompes et groupe turboalternateur de secours.
  
- La probabilité de perte totale des alimentations électriques (situation H3) est jugée faible mais pas improbable.

# Perte des alimentations électriques

- Aucune perte totale des alimentations électriques externes et internes n'avait affecté une centrale avant Fukushima
- Plusieurs précurseurs (pertes partielles) ont conduit à s'interroger sur la suffisance et la pertinence de ces moyens :
  - Bugey 4 en avril 1984,
  - ...
  - Chasnupp 1 en 2006
  - Forsmark 1 en 2001
  - Dampierre 3 en avril 2007



# Evaluations complémentaires de sûreté suite à l'accident de Fukushima

- Demande de l'ASN
- Eléments attendus par l'IRSN

## Rappel de la demande de l'ASN :

### Evénements initiateurs

Inondation

Séisme

Autres phénomènes  
naturels extrêmes

### Pertes de fonctions support

Perte des alimentations  
électriques

Perte des systèmes  
de refroidissement

Cumul des 2 pertes

Gestion des accidents  
graves





Dans ces situations extrêmes, on suppose la perte successive des lignes de défense en appliquant une approche déterministe, indépendamment de la probabilité de cette perte. Il est à noter que la perte des fonctions de sûreté et les situations d'accident grave ne peuvent se produire que lorsque plusieurs dispositions de conception ont été mises en défaut. En outre, des mesures pour gérer ces situations seront supposées être successivement mises en défaut.

Pour une installation donnée, la réévaluation portera, d'une part, sur le comportement de l'installation face à ces situations extrêmes et d'autre part sur l'efficacité des mesures de prévention et de réduction des conséquences, en notant tout point faible potentiel et tout effet falaise<sup>1</sup>, pour chacune des situations extrêmes prises en compte. Il s'agira d'évaluer la robustesse de l'approche de défense en profondeur et la pertinence des mesures actuelles de gestion des accidents, et d'identifier les possibles améliorations de sûreté, aussi bien techniques qu'organisationnelles (telle que les procédures, les ressources humaines, l'organisation en cas d'urgence ou l'utilisation de ressources externes).

Par nature, l'évaluation complémentaire se concentrera sur les mesures qui pourraient être prises consécutivement à une perte postulée des systèmes de sûreté mis en place pour faire face aux accidents pris en compte à la conception. La performance attendue de ces systèmes a été évaluée lors de l'autorisation de mise en service et ne sera pas réévaluée dans ce cadre. Pour les réacteurs, il est souligné que toutes les mesures prises pour protéger l'intégrité du cœur et des piscines de stockage des combustibles usés ou pour protéger l'intégrité du confinement constituent un élément essentiel de la défense en profondeur. De façon plus générale, la prévention est un élément essentiel de la défense en profondeur pour toutes les installations nucléaires.

# Situation de cumul

- En cas de cumul d'une perte totale des alimentations électriques et des moyens de refroidissement, les effets sur le combustible présent en réacteur ou en piscine dépendent essentiellement de deux paramètres :
  1. La puissance résiduelle à évacuer; elle décroît avec le temps. La durée du refroidissement qui précède la situation de cumul est donc un facteur déterminant.
  2. Les volumes d'eau disponibles dans l'installation et utilisables pour le refroidissement.
- Quand ces volumes sont épuisés, des moyens externes doivent être mobilisés pour éviter les situations redoutées ou limiter leurs conséquences (accident grave dans le cas d'un réacteur, rejets importants pour les autres installations, ...)

## Éléments attendus dans le cadre des Evaluations Complémentaires de Sûreté :

### Perte des alimentations électriques **externes**

- Rappel des dispositions de conception, moyens de secours prévus...
- Combien de temps les sources électriques internes peuvent fonctionner, sans secours extérieurs (réacteurs) ? Combien de temps le site peut faire face avant fusion du cœur ou rejets importants sans secours extérieur ?
- Dispositions prises pour prolonger l'utilisation des sources internes (ravitaillement...)
- Dispositions envisagées pour renforcer la robustesse de l'installation

## Éléments attendus dans le cadre des Evaluations Complémentaires de Sûreté :

### Perte des alimentations électriques **externes et internes** de secours (H 3)

- Capacité et autonomie des batteries ...
- Combien de temps le site peut-il faire face sans secours extérieur avant l'occurrence d'effets irréversibles (fusion du cœur ou rejets importants...) ?
- Actions extérieures prévues pour limiter les conséquences en dehors du site (matériels sur site, hors site, délai nécessaire, disponibilité des ressources compétentes...)
- Dispositions envisagées pour renforcer la robustesse de l'installation

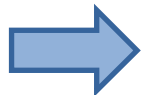
## Éléments attendus : perte des systèmes de refroidissement

- ❑ Réacteurs : Perte de la **source froide principale**, puis perte de la **source froide alternative** (H1)
- ❑ Autres installations nucléaires : Perte de toutes les fonctions de refroidissement

- ➔ Dispositions de conception destinées à empêcher cette perte (réacteurs)
- ➔ Combien de temps le site peut faire face sans secours extérieurs avant fusion du cœur ou rejets importants ?
- ➔ Actions extérieures prévues pour limiter les impacts hors site (matériels sur site, hors site, délai nécessaire, disponibilité des ressources compétentes...)
- ➔ Dispositions envisagées pour prévenir ou retarder l'apparition de conséquences irréversibles, pour améliorer l'autonomie du site et pour renforcer la robustesse de l'installation

## Pertes de fonctions support retenues par les exploitants

- Les exploitants analyseront les situations de pertes totales électriques et pertes de systèmes de refroidissement du cahier des charges.
- Le cumul des deux situations est bien envisagé
- Cas des REP EDF :
  - La perte totale de la source froide considèrera la perte de la source alternative lorsqu'elle existe (EPR FA3, Civaux, Cattenom, Bugey)
  - La perte totale des sources électriques externes et internes prendra en compte la perte de l'ensemble des diesels de secours sur EPR FA3



Démarche adaptée selon l'IRSN



## Pertes de fonctions support retenues par les exploitants

- EDF a explicitement indiqué que la perte de ces fonctions sera considérée de façon durable dans l'évaluation, sans valorisation de leur restauration
    - Ex : pour EPR FA3, en cas de perte totale des sources électriques, l'évaluation considèrera un cas avec récupération d'une source en 12 h, un cas sans récup.
  - Pas d'éléments explicites sur ce point dans les méthodologies des autres exploitants
- ➔ L'IRSN considère l'hypothèse de non récupération de la perte de fonction adaptée dans le cadre des évaluations complémentaires ; elle devra être retenue également par les autres exploitants

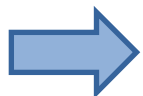
## Pertes de fonctions support du réacteur / de la piscine

Les exploitants concernés (EDF, CEA, ILL) analyseront les pertes électriques et de systèmes de refroidissement sur le réacteur ainsi que sur la piscine

« Interactions » entre les analyses réacteur et piscine

Ne pas « découpler » les analyses des situations accidentelles « réacteurs » et « piscines » :

- Situations postulées = concomitantes
- Certains matériels existants permettant de gérer les pertes de fonctions support peuvent être communs au réacteur et la piscine (moyens d'appoints...)
- Contraintes en termes de moyens humains disponibles, de dosimétrie
- Important pour le dimensionnement de nouveaux moyens (sur site, extérieurs)



EDF et ILL ont d'ores et déjà confirmé qu'ils prendraient en compte cette problématique.

## Méthode d'analyse des pertes de fonctions support - Éléments qui seront inclus dans les rapports par les exploitants

- Description peu détaillée dans les notes de méthodologie (variable) de la méthode et des éléments qui seront inclus dans les rapports pour ces situations :
  - les dispositions existantes, autonomies, délais avant situation redoutée ... seront inclus dans les rapports
  - Clarification des états / configurations initiaux et prise en compte des écarts de conformité existants
- Format de restitution pas toujours précisé (type « arbres d'événements » pour EDF et AREVA, pas exclu pour d'autres installations ...)
- Les exploitants prévoient dans leur démarche d'indiquer les possibilités d'améliorations (matérielles, organisationnelles) de leurs installations, à la lumière des résultats des évaluations complémentaires.

## Dispositions envisagées

- EDF a d'ores et déjà indiqué qu'il envisageait la mise en place de moyens nationaux du type « **Force d'Action Rapide Nucléaire** » (FARN), pour apporter rapidement une aide matérielle et humaine au site affecté, avec un **objectif de mise en œuvre des moyens nationaux avant les rejets massifs.**

- + Quelques autres pistes d'améliorations évoquées par EDF pour EPR FA3

➔ Selon l'IRSN, même si l'**objectif de mise en œuvre des moyens nationaux avant la fusion** n'est pas atteignable en cas de perte simultanée de toutes les parades, il doit être visé dans l'étude des situations fonctionnelles H1 et H3 : les moyens d'augmenter l'autonomie des sites (eau secondaire...) doivent être étudiés pour augmenter les délais avant la manifestation d'effets irréversibles et permettre de rapatrier les moyens extérieurs

### **Position d'EDF**

EDF visera à ce que les moyens de gestion et d'intervention de crise locaux et nationaux se complètent de façon à limiter les rejets dans l'environnement et, autant que faire se peut, la fusion du cœur.