



Appliquer la démarche ALARA *ou optimisation de la radioprotection*

**Pourquoi mettre en œuvre le principe ALARA,
les raisons scientifiques, éthiques et
réglementaires**

Christian Lefaure, ex conseiller de la CoRPAR



Historique

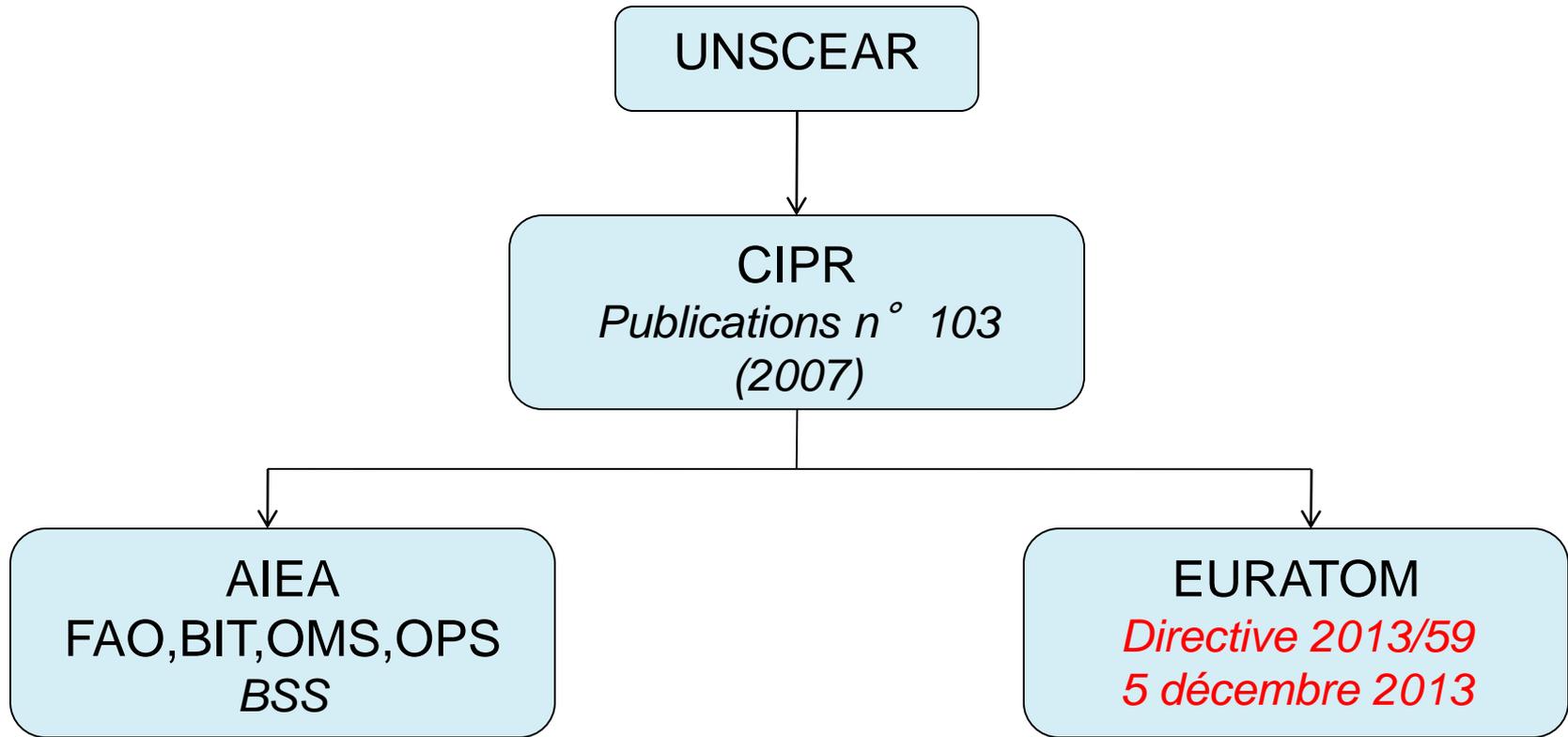


Fin 1895 : Découverte des rayons X par Röntgen.

- Dans les années 20 : premiers décès chez les professionnels de la radiologie.
- 1928 : Création, par les radiologues, du Comité international de protection contre les rayons X et le radium, qui deviendra la CIPR en 1950.
- 1952 : Reconnaissance, à partir d'un grand nombre de données statistiques, du lien entre l'exposition des populations d'Hiroshima et le développement de leucémies (effets stochastiques).
- Un système de protection mis en place progressivement au niveau international

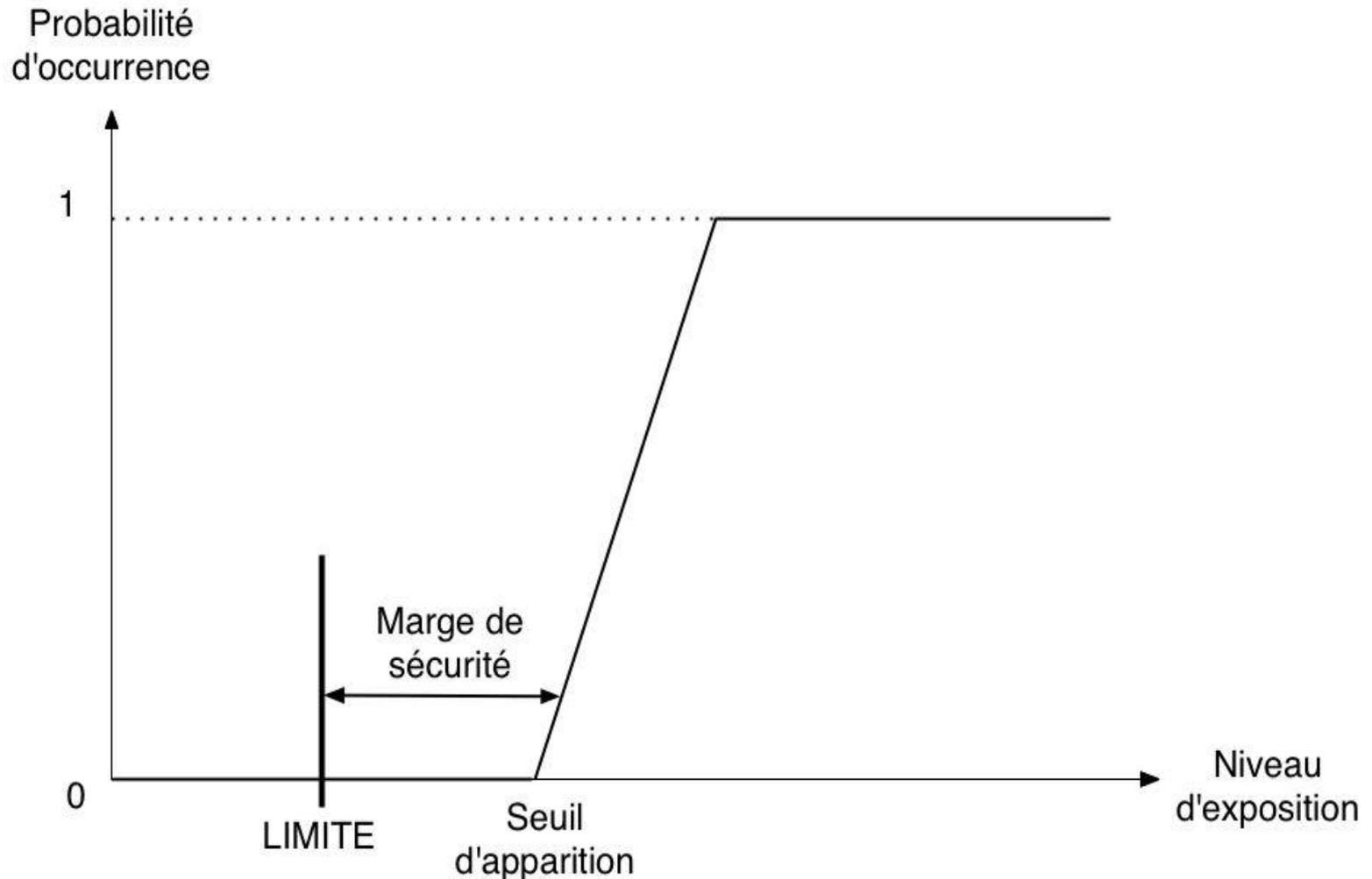


Aujourd'hui



Directive en cours de transposition

« Hier » seuls étaient connus les effets déterministes: pour les gérer le modèle du seuil et la limite





La gestion des effets déterministes

Le principe de prévention par la limite



- Relations dose-effets à seuil bien établies.
- Facilité de mise en œuvre sur le plan réglementaire.
- La limite est une garantie individuelle que les effets déterministes n'apparaîtront pas.
- La première limite est apparue en 1934 soit 6 ans après la création du Comité International de Protection contre les rayons X et le radium: elle était de 450 mSv par an
- La limite a été le premier élément du « système de protection radiologique »

- *Par ailleurs, en pratique dès le départ temps, écran, distance*



« Aujourd'hui »

Les effets stochastiques ou probabilistes



- Augmentation du nombre de cancers observés sur une population exposée.
- Impossibilité de prédire qui dans cette population développera un cancer radio-induit.
- Impossibilité après coup de dissocier les cancers radio-induits des autres cancers.



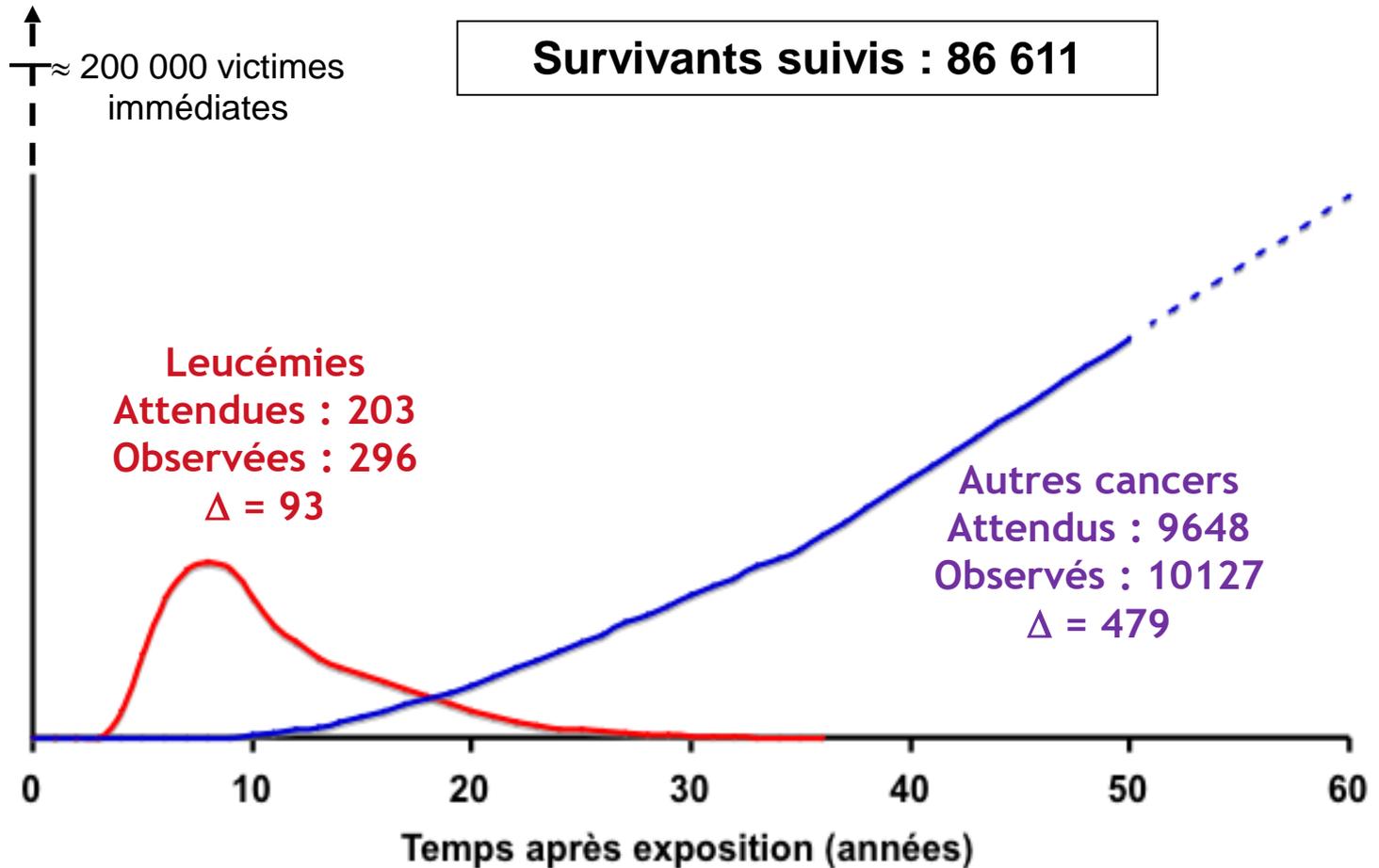
Pour démontrer de façon significative l'existence d'un excès de cancers



- il faut suivre (épidémiologie) entre 10 à 30 ans :
 - 1 000 individus si l'exposition est de l'ordre de 1 sievert par personne,
 - Plusieurs dizaines de milliers d'individus si l'exposition est de l'ordre de 1/10 de sievert par personne,
 - Plusieurs dizaines de millions d'individus si l'exposition est de l'ordre de 1/100 de sievert par personne.

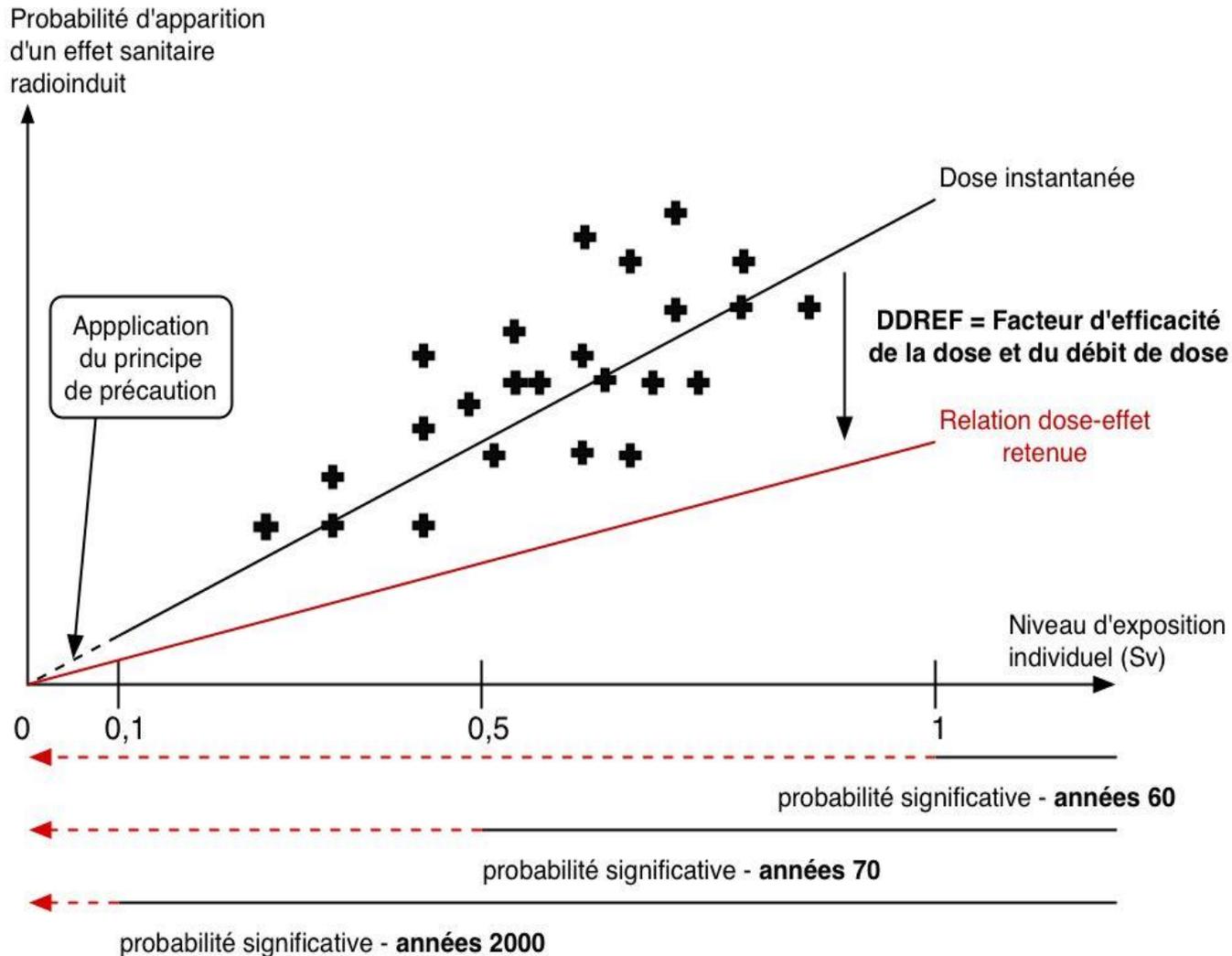
Les effets sanitaires d' Hiroshima-Nagasaki

Effets mortels



D' après Preston *et al.*, Rad Res 2004

La relation dose-effet pour les effets stochastiques aux faibles doses



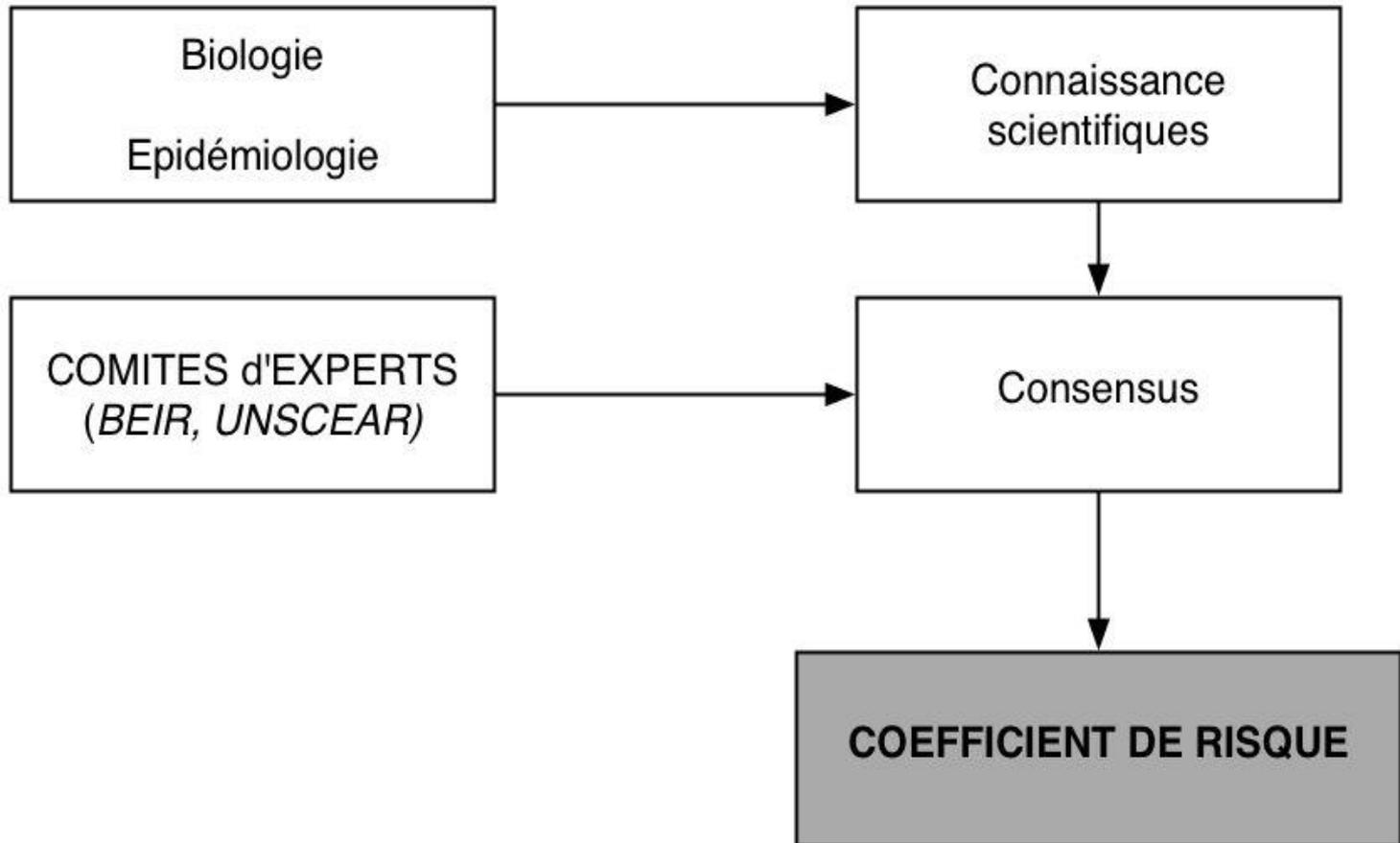


Pour gérer une situation incertaine, la précaution est un comportement ...



- Ethique.
- Qui répond à un souci d'être socialement responsable.
- Qui induit un principe d'action en vue :
 - D' être responsable en « construisant » et « maintenant » le risque à un niveau raisonnable, sans mauvaise allocation des ressources et en assurant une distribution équitable du risque
 - D' être vigilant et de laisser la porte ouverte à l' évolution des connaissances.

La construction du risque associé aux effets stochastiques





Le risque pour les effets stochastiques (CIPR 103 - vie entière)



- Risque de décès par cancer : 27,5%.
- Augmentation du risque pour 1 sievert :
 - Pour les travailleurs : 4,1%
 - Pour le public : 5,5 %
- *Est il additif ou multiplicatif par rapport au risque total?*
- La perte d'espérance de vie associée à un cancer mortel est de 16 ans

Le risque pour les effets stochastiques (CIPR 103 - vie entière)

Coefficient de probabilité nominale 10^{-2} par Sievert			
Population exposée	Cancers mortels	Effets héréditaires	Total
Adultes	4,1	0,1	4,2
Population entière	5,5	0,2	5,7

La relation dose effets est supposée être linéaire et sans seuil (LNT)



Le risque pour les effets stochastiques (CIPR 103 - vie entière)



- Un travailleur exposé à 20 mSv tous les ans pendant sa vie professionnelle (35 ans) cumulerait 700 mSv.
- Ceci correspond à un risque additionnel de décéder d'un cancer radio-induit de 2,9% (soit un risque total de décès par cancer de 30,4% en Europe de l' Ouest, de 32,5% aux USA Canada,...).

Risques individuels annuels de décès

Cause de décès	Risque individuel annuel
Décès toutes causes	$8,92 \cdot 10^{-3}$
Décès tous cancers	$2,50 \cdot 10^{-3}$
<i>Cancer du poumon</i>	$4,00 \cdot 10^{-4}$
<i>Leucémie</i>	$1,36 \cdot 10^{-4}$
Décès par accident du travail	$2,00 \cdot 10^{-4}$
<i>Métallurgie</i>	$4,24 \cdot 10^{-5}$
<i>BTP</i>	$1,66 \cdot 10^{-4}$
<i>Bois</i>	$7,51 \cdot 10^{-5}$
<i>Chimie</i>	$2,81 \cdot 10^{-5}$
<i>Mine</i>	$1,53 \cdot 10^{-4}$
Décès de la vie courante	$6,42 \cdot 10^{-5}$
Décès par accident de la route	$1,45 \cdot 10^{-4}$
Décès par cancer radioinduit (travailleur : 20 mSv)	$8,00 \cdot 10^{-4}$ (estimé)



En utilisant la relation dose effets

Que se passe t il si?



- 100 travailleurs sont exposés chacun à 1Sv?
- 1000 travailleurs sont exposés chacun à 0,1 Sv?
- Combien de cancers radio induit s' attend on à trouver à terme?
- Quelle est la somme des doses individuelles dans chaque cas?

La notion de dose collective

Nombre de personnes exposées	Dose individuelle moyenne	Excès de risque individuel*	Risque population	Dose collective
100	1 Sv	4/100	4 cancers	100 H.Sv
1 000	0,1 Sv	4/1000	4 cancers	100 H.Sv
10 000	0,01 Sv	4/10000	4 cancers	100 H.Sv

* Relation linéaire sans seuil : 4,1% par sievert pour les travailleurs



La notion de dose collective



- Somme des doses individuelles des personnes exposées.
- Exprimée en Homme.Sievert (H.Sv).
- Traduit le **détriment potentiel** pour une population entière.
- Permet d'évaluer un **risque global** (indicateur de risque).
- Indicateur de la performance des actions de protection.
- Doit toujours être considérée en tenant compte des niveaux de dose individuelle et d'autres facteurs déterminants (distribution dans le temps et dans l'espace).
- N'a pas de sens pour des populations énormes soumises à de très faibles irradiations.



La notion de dose collective



- La perte d'espérance de vie pour un homme Sievert est d'environ ...
 - 16 ans pour un cancer
 - Multipliée par la probabilité d'apparition d'un cancer
 - À savoir. 0,055 pour le public
 - 0,88 année
- ... une année de vie



Pourquoi ALARA?



ALARA = As Low As Reasonably Achievable

C'est un acronyme.

To keep doses ALARA

Et cela signifie

Maintenir les doses aussi basses que raisonnablement possible



Pourquoi ALARA?



Depuis la fin des années 70, l'optimisation de la radioprotection ou **ALARA** est le cœur du système de radioprotection **préconisé** par la CIPR (*depuis la CIPR 26, puis 60 et aujourd'hui la CIPR 103 de 2007*) et rendu **obligatoire** par les Directives Européennes (*bien sûr dans la 2013/59, précédemment dans la 96/29 et la 97/53*) **transcrites dans le droit français** (*voir dia suivante*).

Toute activité humaine qui expose les individus à des rayonnements ionisants doit **préalablement à sa mise en œuvre être justifiée** c.a.d. apporter plus de bénéfices à la société que de détriment: c'est un choix sociétal et politique.

Le détriment, donc les **expositions collectives (et individuelles)** induit(es) par la mise en œuvre d'une activité « justifiée » doit être **réduit « aussi bas que raisonnablement possible »**; le choix des options de protection « raisonnables » est obtenu par un processus d'optimisation ou processus ALARA.



Pourquoi ALARA?



Code de la santé publique modifié par l'ordonnance du 10 Février 2016

- « *Art. L. 1333-2.* – Les activités ... satisfont aux principes suivants :
- « **1/ Le principe de justification**, ...une activité ... ne peut être entreprise ou exercée que si elle est justifiée par les avantages qu'elle procure sur le plan individuel ou collectif, notamment en matière sanitaire, sociale, économique ou scientifique, rapportés aux risques inhérents à l'exposition ...;
- « **2/ Le principe d'optimisation**, ...le niveau de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants résultant d'une de ces activités, la probabilité de la survenue de cette exposition et le nombre de personnes exposées doivent être maintenus au niveau le plus faible qu'il est raisonnablement possible d'atteindre, compte tenu de l'état des connaissances techniques, des facteurs économiques et sociétaux et, le cas échéant, de l'objectif médical recherché ;
- « **3/ le principe de limitation**...

Et le code du travail? Il dit de **respecter les principes du code de la santé**



Une chance pour quantifier le risque et l'efficacité des actions



Une chance, par rapport à de nombreux autres risques pour l'analyse du **critère efficacité**,

1/ on peut prédire les doses individuelles et en déduire le risque prévisible (*relation dose effet*) :

2/ on peut prédire **la dose collective** puisqu'elle est la somme des doses individuelles

3/ puisque pour une dose collective donnée, quels que soient le nombre et la distribution des doses individuelles qui la compose, il y a un nombre de cancers radio induits « attendus » unique (*grâce à la relation dose effet linéaire et sans seuil*)

4/ on peut donc prédire **le détriment sanitaire** pour une population de travailleurs : c'est donc lui qu'il faudra réduire raisonnablement (*en s'attaquant bien sûr en priorité aux doses individuelles les plus élevées*)



ALARA : une approche anticipatrice

- Essayer de maintenir les expositions aussi bas que raisonnablement possible implique d'adopter une approche anticipatrice en vue de:
 - Evaluer et prévoir les expositions individuelles et collectives
 - Envisager les actions qui peuvent réduire les expositions
 - Sélectionner celles qui sont jugées **raisonnables**
 - Recueillir le retour d'expérience à l'issue de l'opération et l'utiliser pour les interventions futures

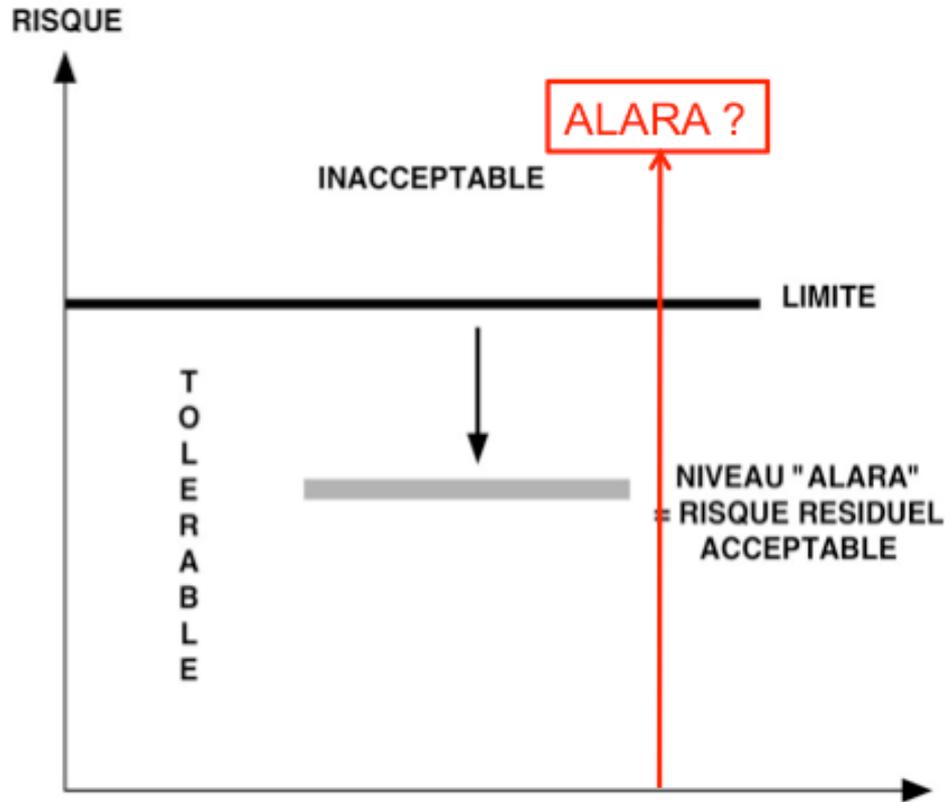


Une fois l'optimisation effectuée, comment tenir compte des limites?



- Quel est alors le rôle des limites?
- Que se passe t il si la solution optimisée dépasse la limite?
- C.a.d si toutes les solutions jugées raisonnables ne permettent pas de faire passer certaines expositions individuelles en dessous de la limite?

Une fois l'optimisation effectuée, comment tenir compte des limites?



Si, après l'optimisation, c.a.d une fois les options raisonnables sélectionnées, une ou plusieurs doses individuelles dépassent la limite ou seuil d'inacceptabilité du risque, alors il faut réduire encore plus, même si cela n'apparaît pas a priori raisonnable



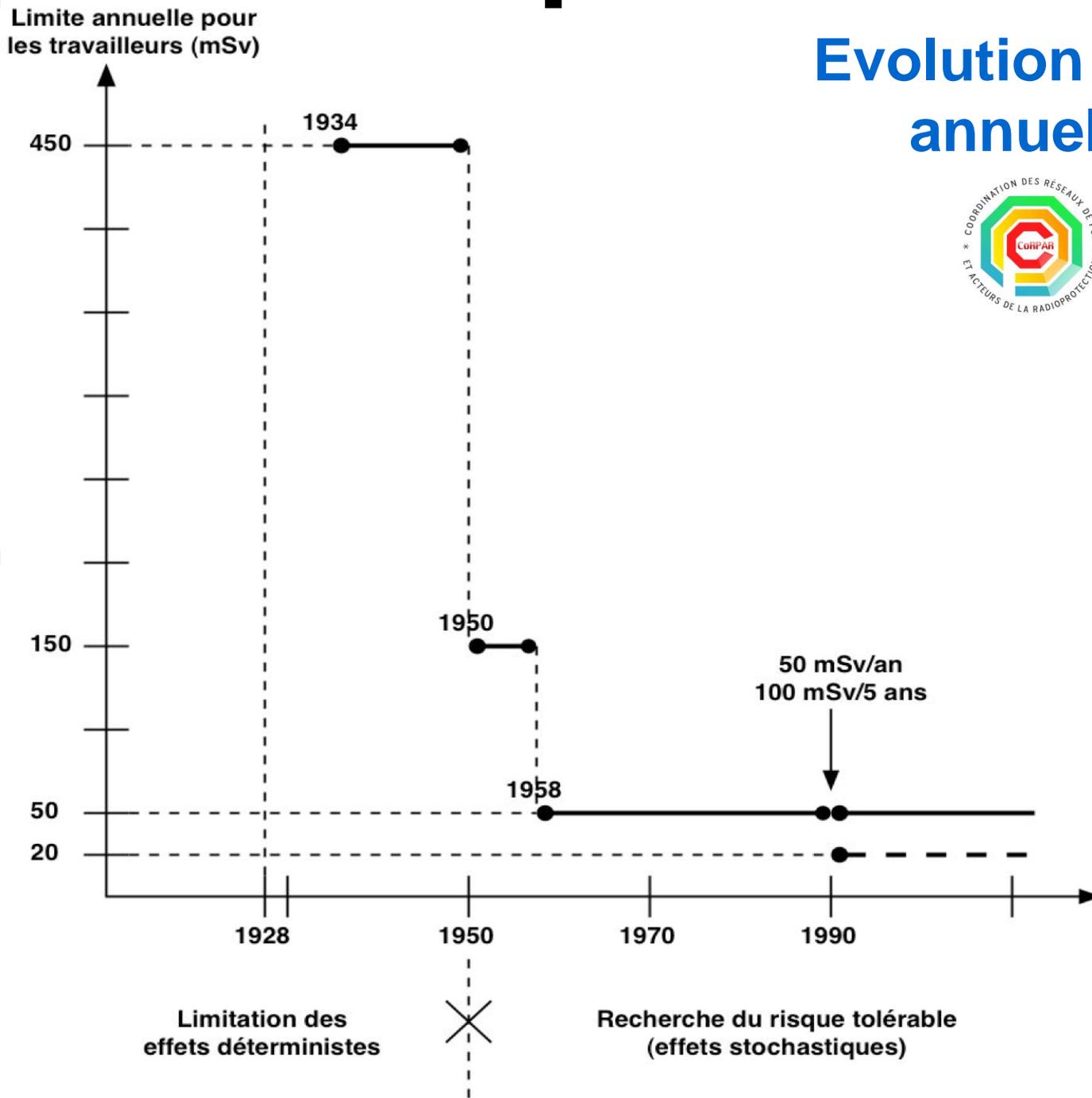
Les deux significations de la notion de limite



- Garantie individuelle que les effets déterministes n'apparaîtront pas.
- Garantie individuelle que le risque résiduel pour les effets stochastiques est socialement tolérable.
- **Rester au dessus de la limite est inacceptable**

compte tenu de cela la limite ne doit jamais être excédée quel que soit le coût que cela représente

Evolution de la limite annuelle de dose efficace





Les interprétations et les applications erronées de la limite de dose



- La limite n' est pas une frontière entre ce qui est sûr et ce qui n' est pas sûr : elle n' est pas un seuil d'innocuité.
- La limite ne s' applique pas à la source, mais à l' individu.
- La limite de dose ne s' applique pas aux situations d' intervention.
- La limite de dose ne s' applique pas aux expositions médicales qui sont délivrées délibérément pour le bénéfice direct du patient.



Statut juridique de la limite



- Le dépassement de la limite constitue une infraction.
- La responsabilité de garantir le respect de la limite est partagée par l'employeur et l'exploitant.
- En cas de dépassement de la limite par un de ses employés, l'employeur est le principal responsable.



Statut juridique d' ALARA



- Mise en œuvre d' ALARA “obligatoire” comme le respect des limites.
- Mais... obligation de moyens et non de résultats (au contraire de la limite).
- Tous “responsables” a priori d' adopter une attitude, un comportement visant à mettre en œuvre ALARA.
- Le dépassement d'une prévision dosimétrique optimisée ne constitue pas une infraction.



Statut juridique d' ALARA



- Une responsabilité partagée entre l' exploitant et l' employeur.
- L' exploitant : responsable de mettre à disposition des travailleurs des “sources et conditions de travail optimisées”.
- L' employeur : responsable de l' évaluation préalable des expositions pour son personnel et en droit français principal responsable de sa protection.
- *L' exploitant : reste cependant responsable a posteriori de la non application du principe sur la source et les conditions de travail. (conception de l'installation, modifications, fonctionnement...)*

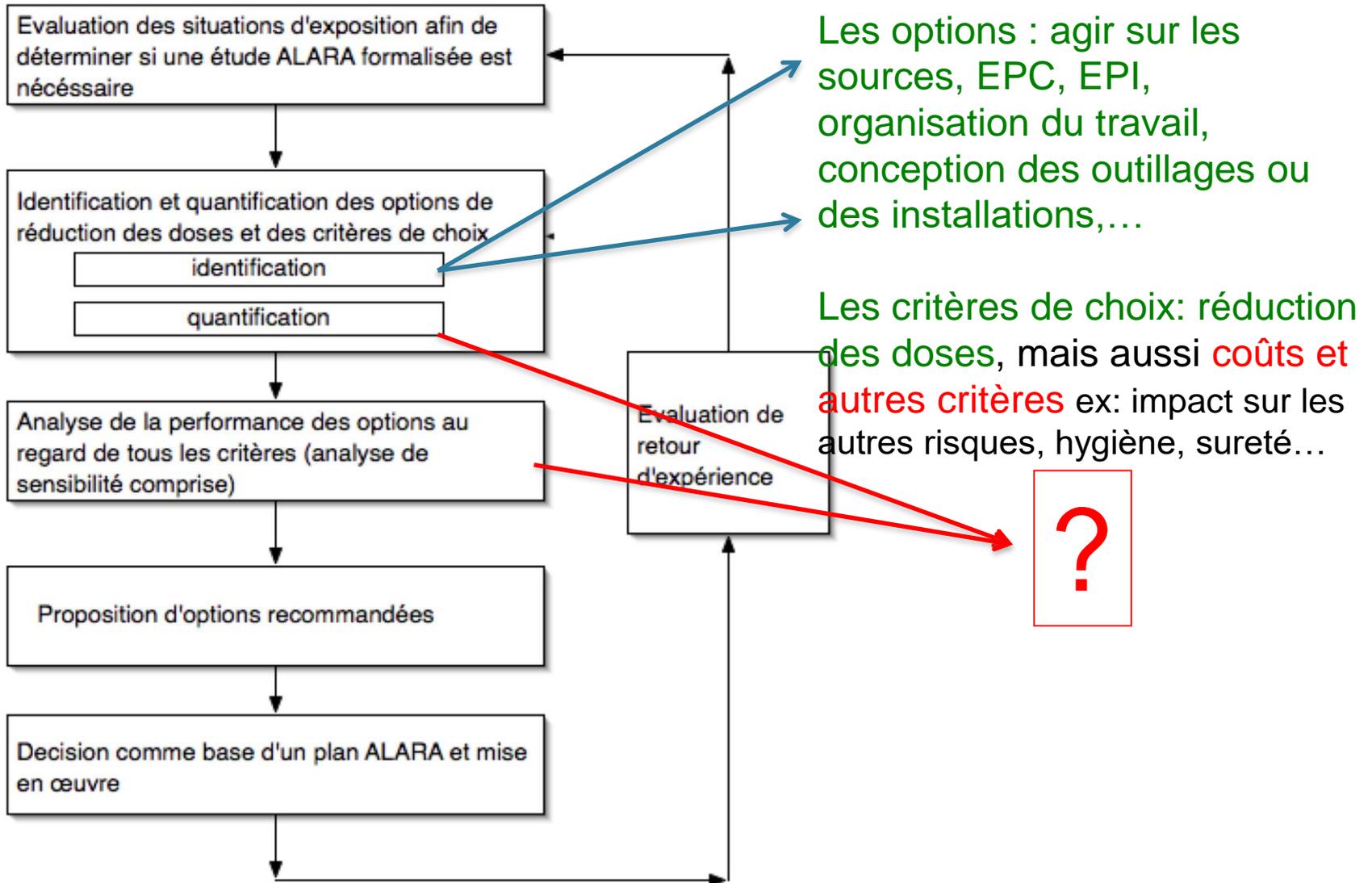


Appliquer la démarche ALARA ou optimisation de la radioprotection: la procédure ALARA

Christian Lefaure, ex conseiller de la CoRPAR

Comment ALARA?

La procédure d'optimisation

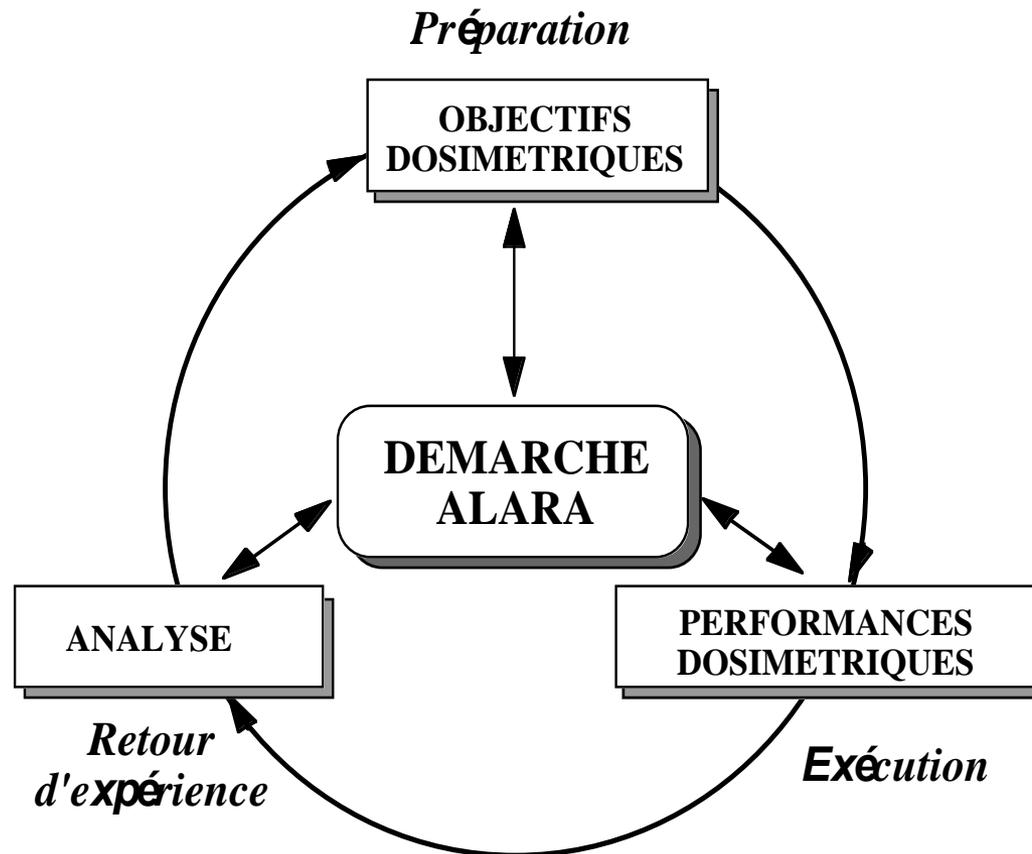


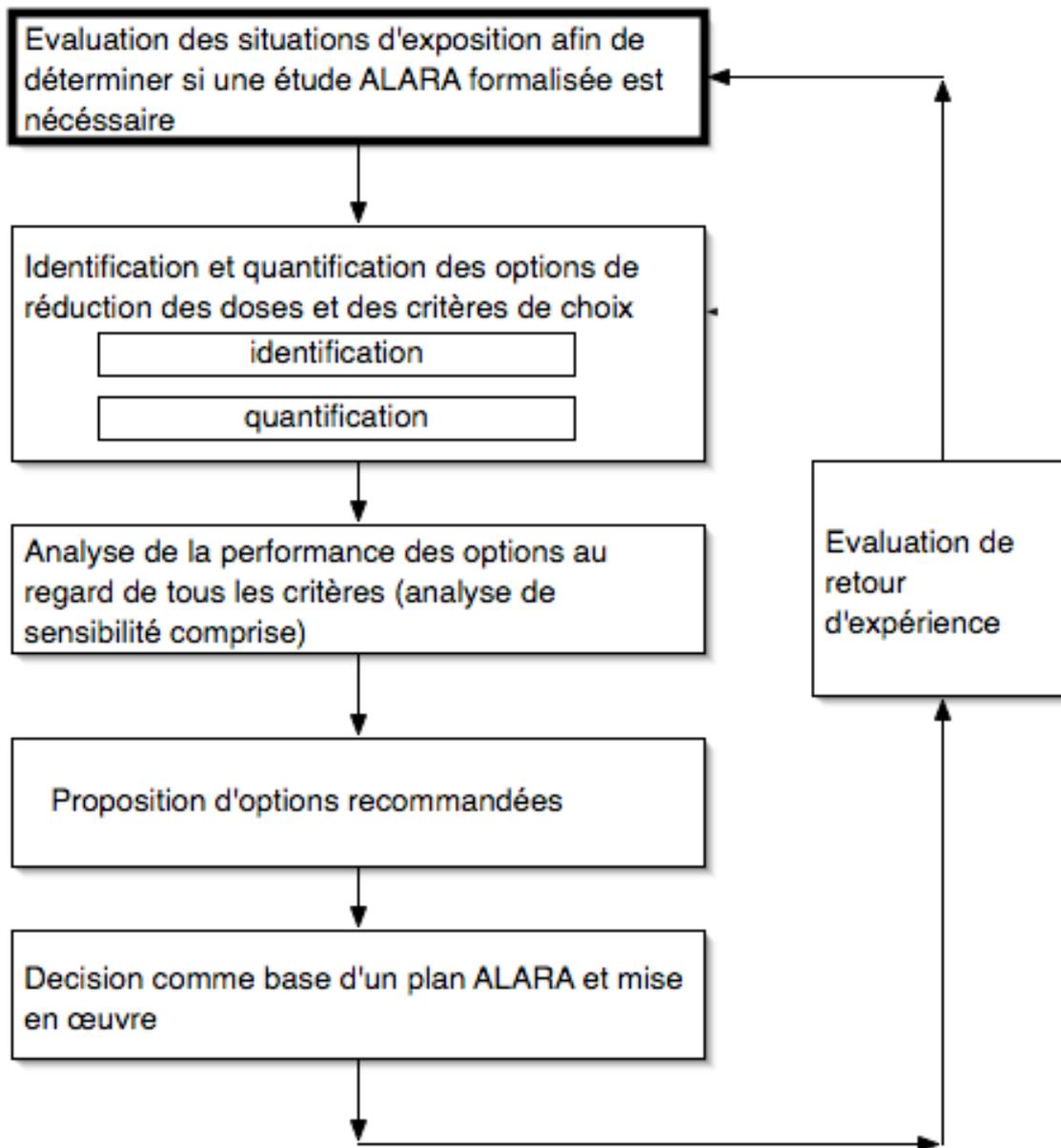
Mettre en œuvre la procédure d'optimisation de la radioprotection ...



- Appliquer une simple « check-list » avec 5 étapes et des sous étapes qui permettent de structurer l'analyse de tout problème et de toute décision en radioprotection
- Aboutir à l'élaboration d'objectifs de dose optimisés en termes de dose collective et (éventuellement) de doses individuelles par tâche
- Vérifier ensuite ce qui se passe réellement de façon à
 - Faire apparaître les écarts,
 - Garder les vraies données et améliorer si possible la situation en temps réel ; mais aussi ...
- ... Réaliser des analyses de REX pour préparer les futures opérations, en utilisant à nouveau la procédure d'optimisation

... au sein d'une approche ALARA (qualité?) globale qui suit les phases opérationnelles de toute activité





La question à se poser:

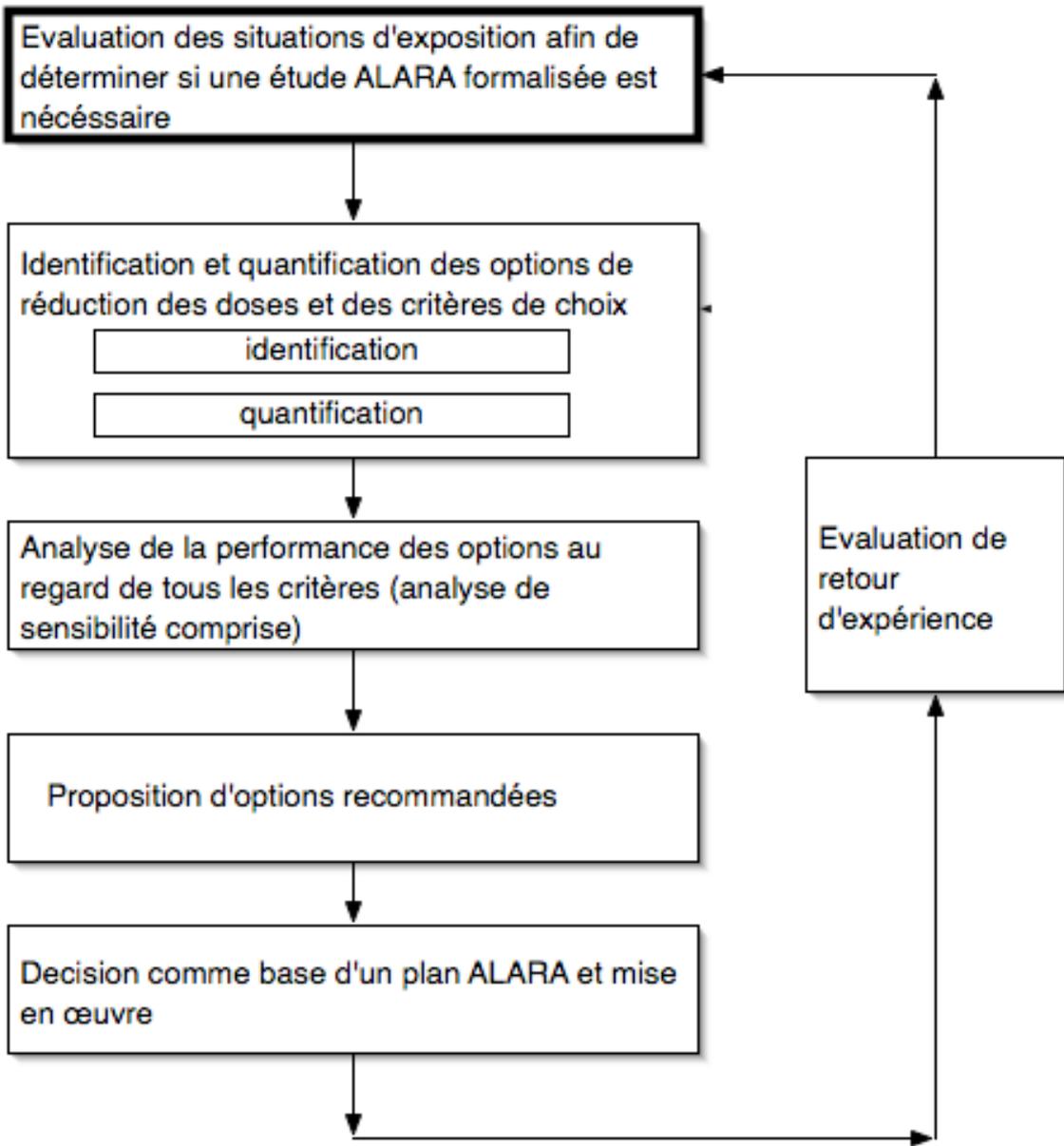
De quoi a t on besoin pour évaluer les enjeux dans ce que l'on appellera la situation de référence, celle où l'on ne fait rien de plus?

Ne pas oublier :

- *que le volume de travail à prendre en compte est le VTE ou volume de travail exposé et non le volume total de travail*

- *que le débit de dose est le « débit moyen réellement utilisé » par les travailleurs qui se déplacent et « sont soumis » à des débits différents en permanence*

Approche analytique:
décomposition en tâches?



en fonction du niveau d'enjeux se demander

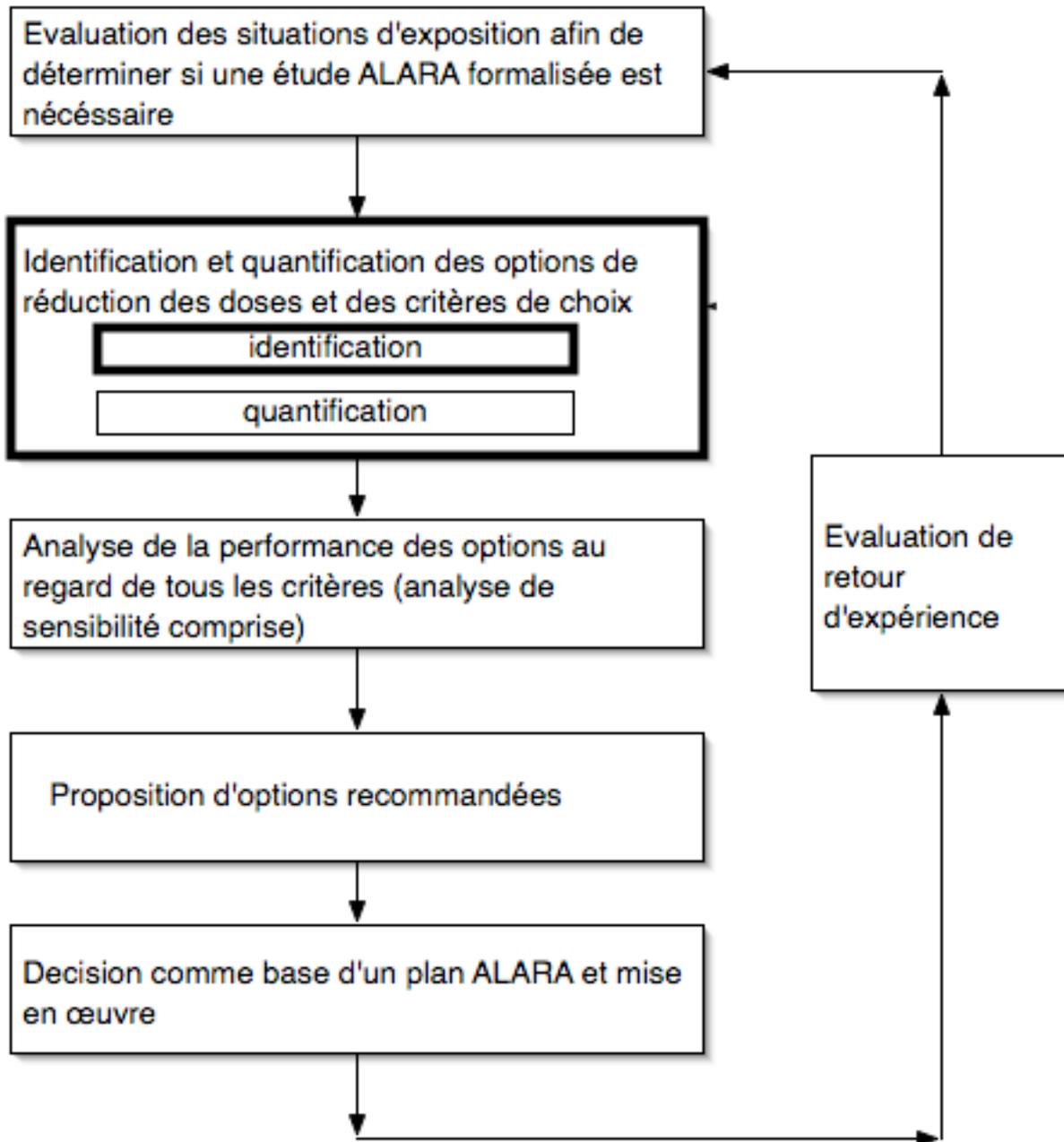
Faut il faire une étude ou simplement appliquer les bonnes pratiques ?

S'il faut faire une étude: qui doit la faire?

La PCR ? Seule ? Avec qui ?

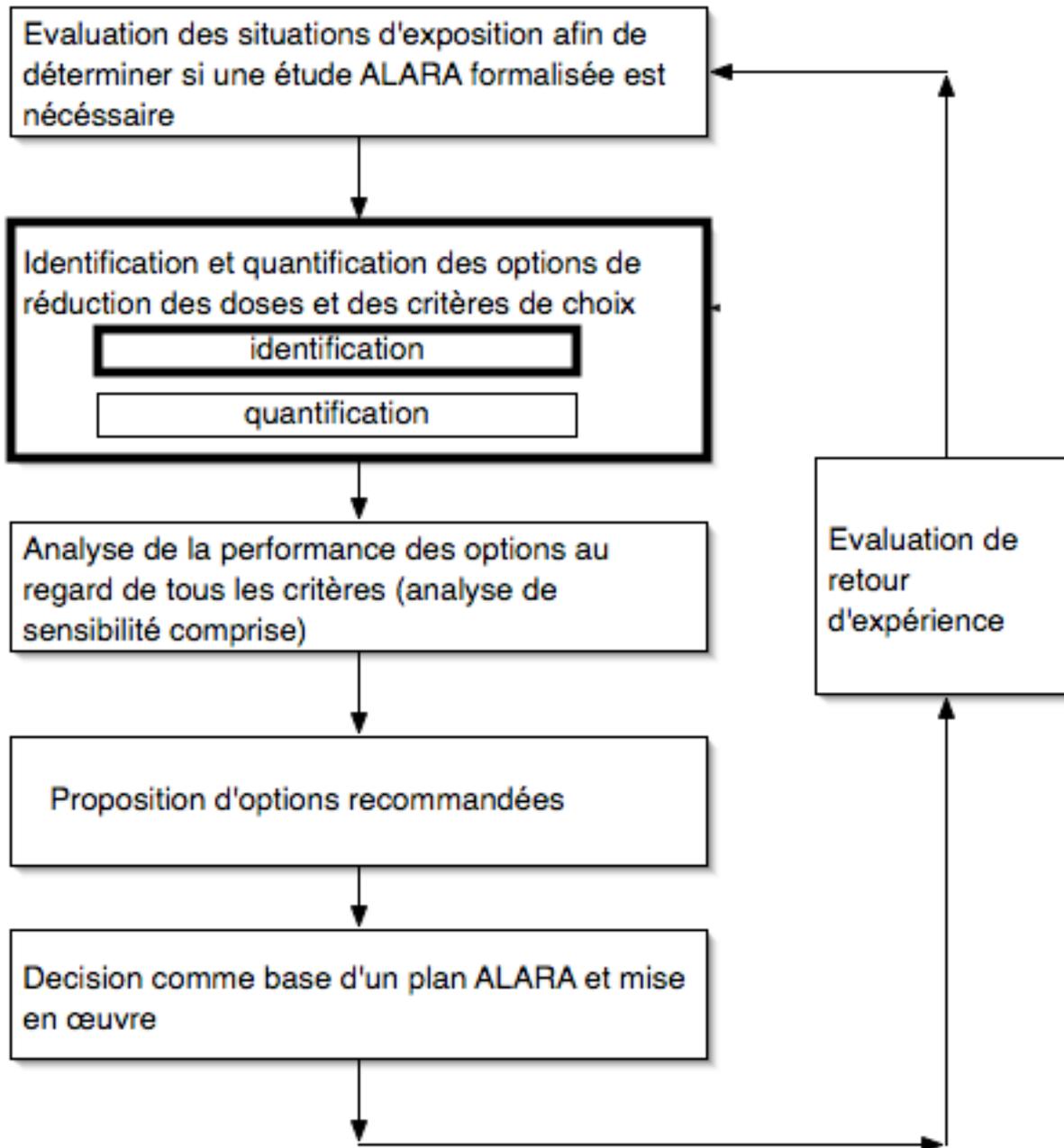
une étude générique par un groupe de travail national?

Que chaque PCR pourra décliner en utilisant ses propres données?



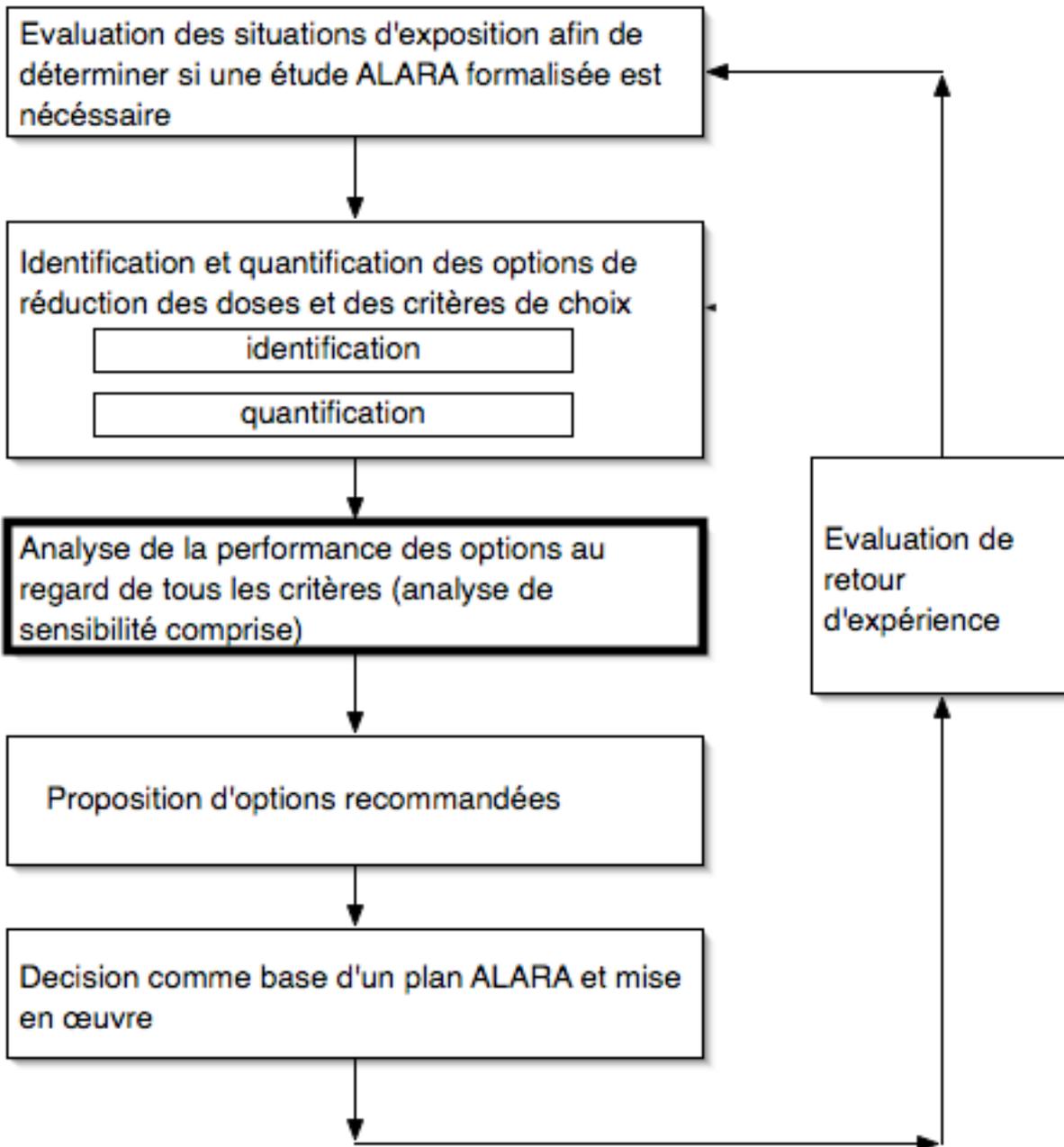
Quelles options peut on envisager?

- brain storming les radioprotectionnistes (PCR et autres acteurs...) avec les autres professionnels (ceux qui réalisent les opérations, actes,...)
- Sans rejeter a priori quoi que ce soit



Quels critères de choix retenir?

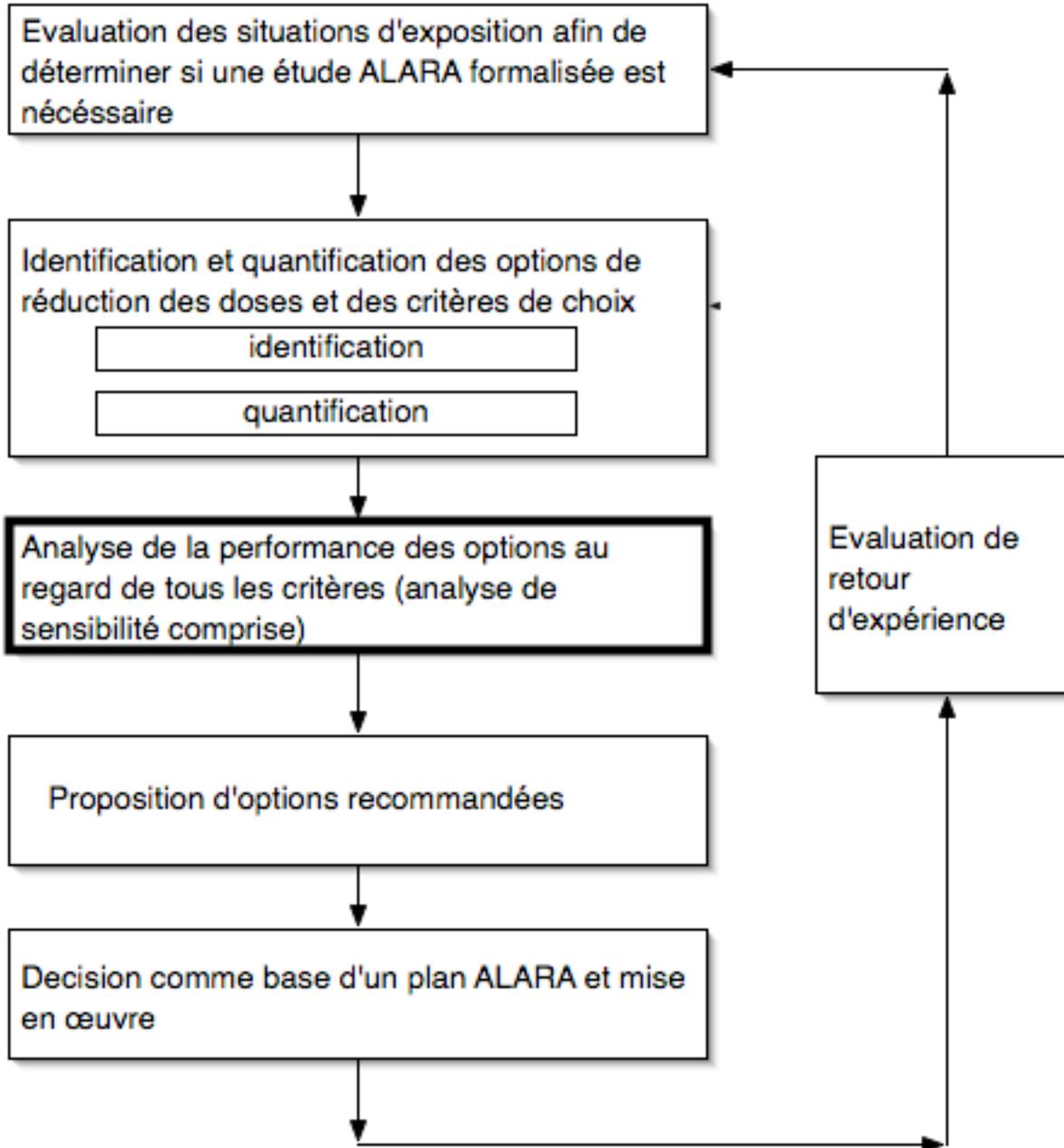
- Faisabilité
- Efficacité : dose collective; distrib. doses individuelles; transfert de doses
- Coûts des actions : directs investissement, exploitation; indirects coûts d'exploitation évités, manque à gagner...;
- Autres
 - Autres risques
 - Hygiène
 - Sûreté
 - Disponibilité
 - ...



Qu'est ce que la performance d'une option?

Comment peut on évaluer la performance?

Performance raisonnable?



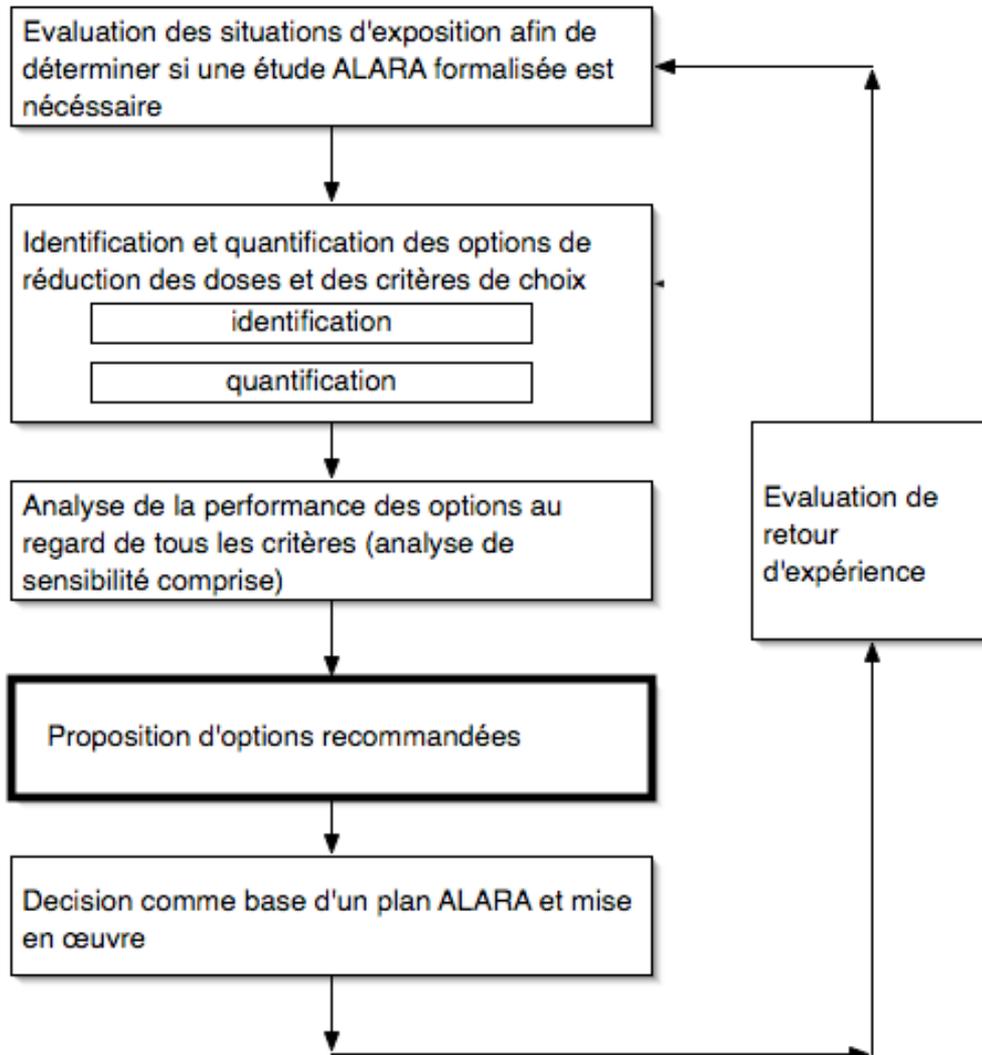
Y a t il des techniques et des outils pour aider à définir le raisonnable?

Sont ce les mêmes quels que soient les critères de choix?

La performance varie t-elle de façon significative si l'on fait varier les hypothèses sur chacun des critères retenus?

Alors c'est quoi une analyse de sensibilité?

Proposer des options raisonnables

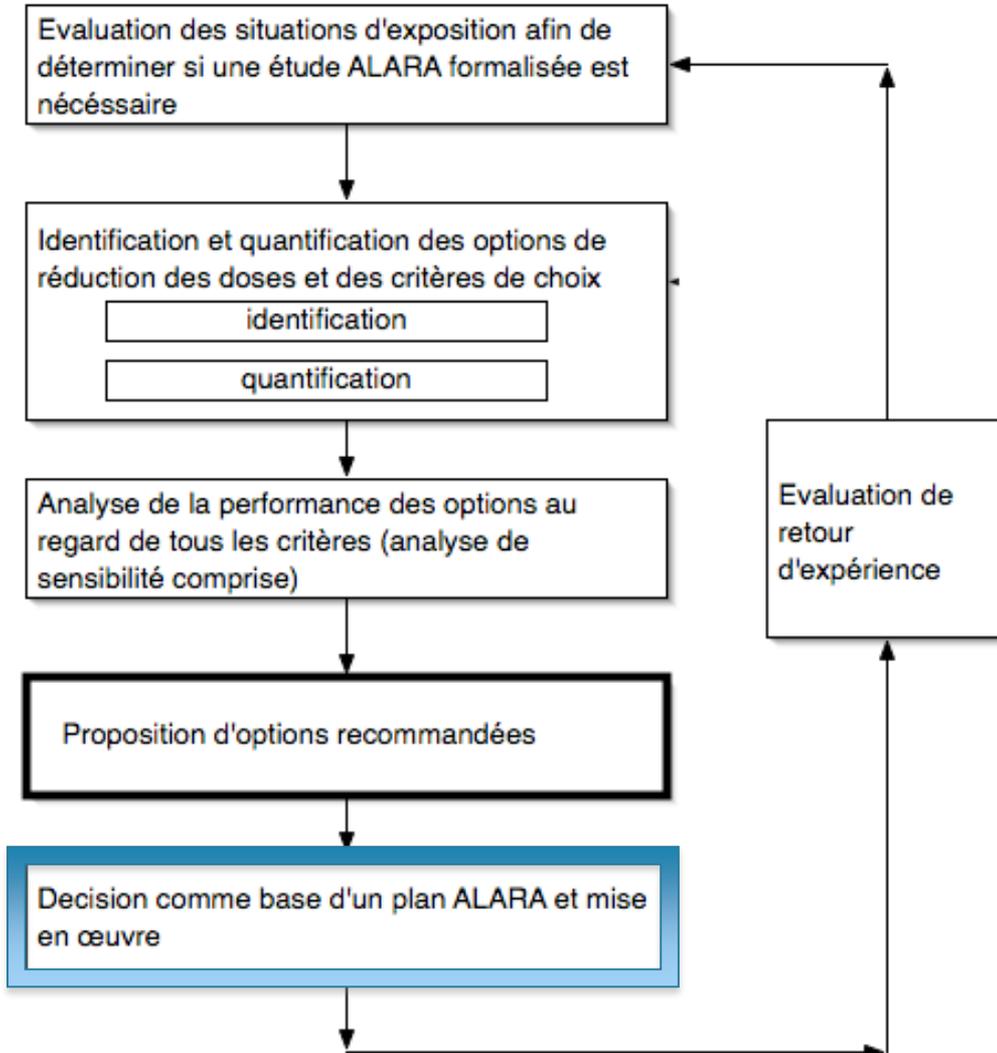


Qui prépare le dossier?

C'est le rôle de ceux qui ont fait l'étude de présenter un choix d'options (ou plusieurs choix) que l'on pourra qualifier de raisonnable

On peut s'appuyer sur les outils; mais on peut aussi s'en affranchir

Le choix des options et décision



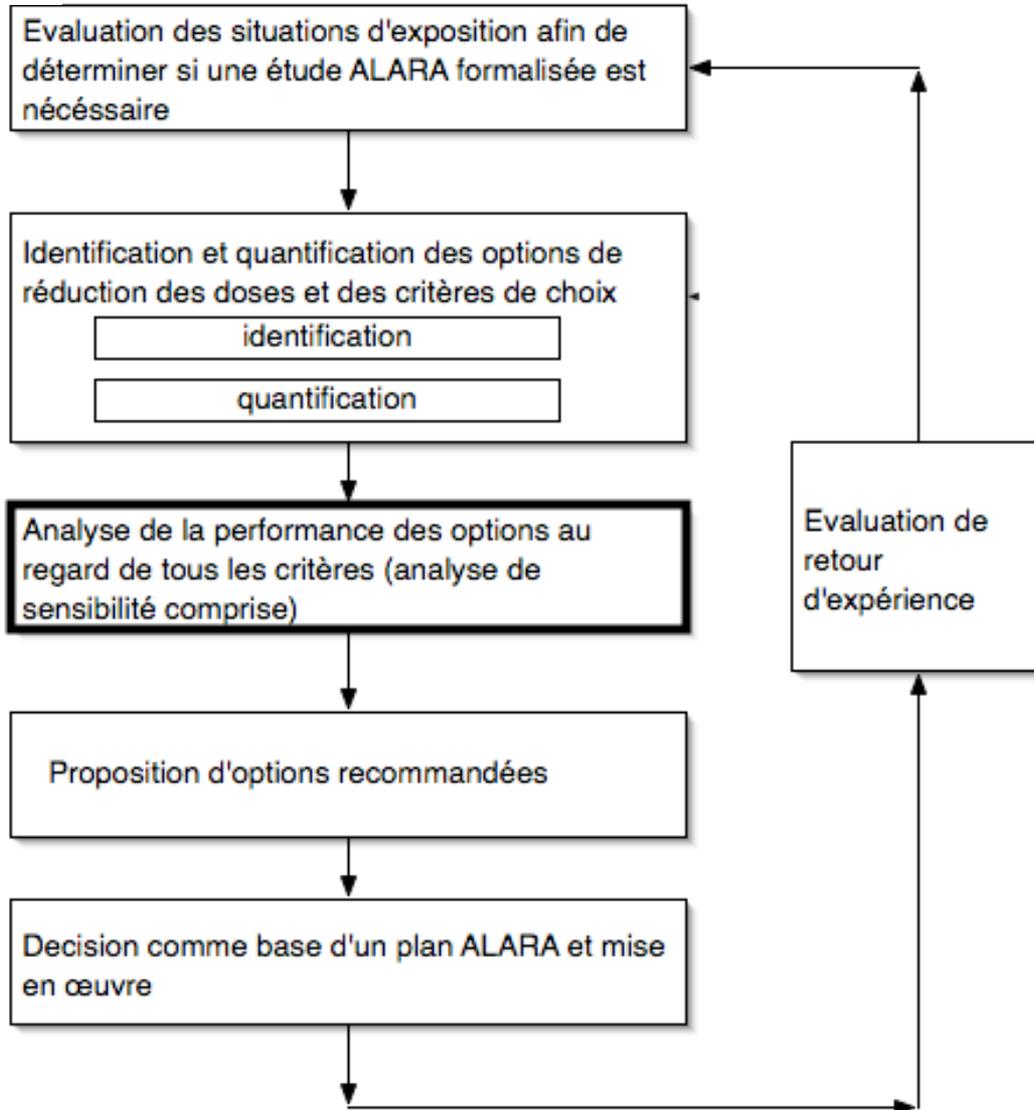
Les outils précédents doivent rester des outils d'aide à la décision.

Celle ci reste du ressort du management dans le cadre des procédures habituelles (et légales) de prises de décision dans l'installation, dans l'entreprise, et dans la négociation entre exploitant et employeur si ce n'est pas le même...



Appliquer la démarche ALARA ou optimisation de la radioprotection: exercice simple cout - efficacité

Christian Lefaure, ex conseiller de la CoRPAR



Y a t il des techniques et des outils pour aider à définir le raisonnable?

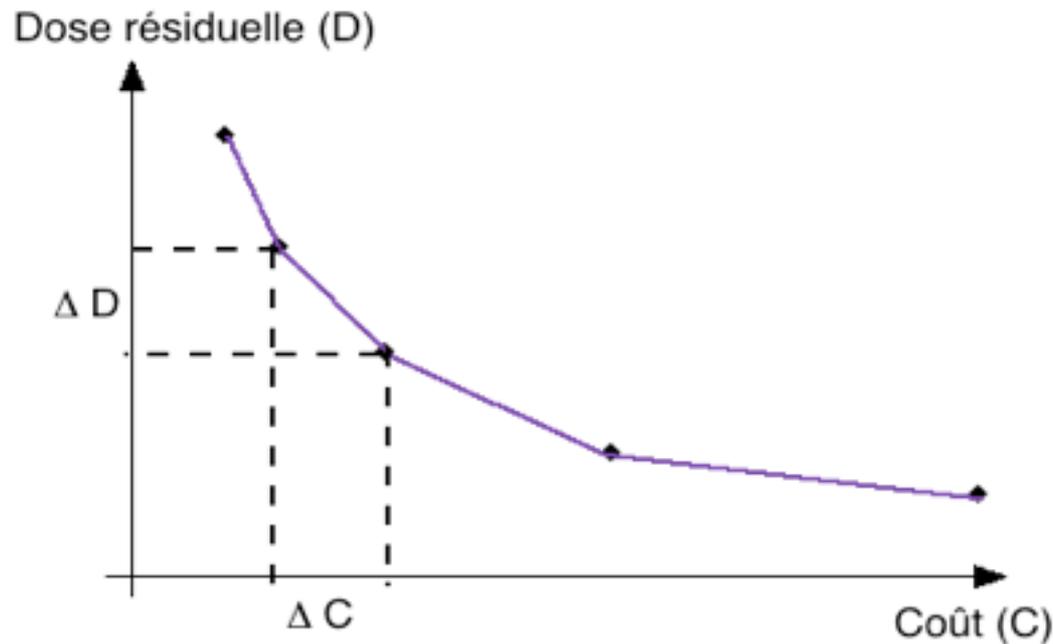
Sont ce les mêmes quels que soient les critères de choix?

La performance varie t-elle de façon significative si l'on fait varier les hypothèses sur chacun des critères retenus?

Alors c'est quoi une analyse de sensibilité?

Des outils d'aide à la décision l'analyse coût efficacité

Cas simples: quelle est l'efficacité de l'option et qu'est ce que cela coûte;



Sur le graphe chaque point est une option de protection
(ou une combinaison d'options) définie par son coût en abscisse
et la dose collective résiduelle de la tâche, une fois l'option mise en œuvre,
en ordonnées

Jusqu'où va t'on?

Analyse: où s'arrêter?

Qu'est ce qui est raisonnable ?

L'analyse coût-efficacité

On **range les options par ordre de coût croissant** et on regarde si les options à coût nul sont complémentaires ; si oui on les met en œuvre impérativement et la situation de référence devient la situation initiale plus toutes les options à coût nul.

On fait le ratio $\Delta C/\Delta D$ et on regarde l'évolution de ce ratio au fur et à mesure que l'on cherche à réduire plus les expositions.

$\Delta C/\Delta D$: ratio traduisant le coût implicite d'une unité de dose évitée

Et les managers décident à partir de quel niveau on arrête les dépenses

Analyse: où s'arrêter?

Qu'est ce qui est raisonnable ?

L'analyse coût-efficacité

On peut aussi disposer de valeurs de référence au dessus desquelles on peut estimer que ce ne serait pas vraiment raisonnable de continuer les efforts.

La CIPR propose une méthodologie qui tient compte de la richesses des pays

Pour la France on aboutit à une valeur unique :
20 euros par homme.mSv évité

D'autres méthodes tiennent compte des niveaux de doses individuelles

de quelques euros à quelques milliers d'euros par homme.mSv évité

Existence d'une valeur de référence

- Qui décide de cette valeur?
 - Généralement le management
- Où y en a t il?
 - Chez la plupart des exploitants nucléaires
- Y a t il une méthode pour l' estimer ?
 - La CIPR en propose une, le CEPN une autre
- Y a t il une valeur unique dans un pays ?
 - Non il peut y en avoir plusieurs qui diffèrent d' au moins un facteur dix
- Est elle souvent utilisée?
 - Pas très souvent; mais surtout pour des décisions importantes
- Que se passe t il si un exploitant n' a pas de valeur de référence?
 - Discutons en!

La valeur monétaire de l'homme.sievert exemple

les valeurs retenues par EDF en 2003

Plage de dose individuelle annuelle (mSv/an)	Valeur monétaire de référence de l' Homme.Sievert évité (€/H.mSv)
0 - 10	650
10 - 16	1 300
16 - 20	1 800

Exercice

Un groupe de travailleurs a une **dose moyenne annuelle de 8 mSv**

Il doit effectuer une tâche dont la **dose collective prévisionnelle** a été estimée dans le cadre de la procédure ALARA à **20 homme-mSv**.

Pour réduire cette dose collective il y a deux options qui peuvent être combinées

On connaît le coût de chacune et la dose résiduelle de la tâche si l'option est mise en œuvre

Option	Dose Collective résiduelle (homme mSv)	Coût (€)
A	18	500
B	16	4000
A+B	14	4500



Exercice



En utilisant le système de valeurs monétaires d' EDF et l' analyse coût efficacité, répondez aux questions suivantes

1/ quelle est la référence?

2/ quelle est la meilleure situation raisonnable?

3/ quel est l'impact si au lieu de 8 mSv la dose moyenne individuelle annuelle du groupe de travailleurs est de 12 mSv?

Exercice

1/ quelle est la référence?

La référence; situation de départ (hors les nouvelles actions de protection envisagées; mais pas sans radioprotection du tout bien sûr)

Correspond à 20 hmSv; pas de nouvelles actions et le surcoût lié à la mise en œuvre d'actions nouvelles est Nul

Donc

	Dose collective	Cout
référence	20 hmSv	0

Exercice

1/ quelle est la meilleure situation raisonnable ?

On va classer A, B, A+B par **ordre de coût croissant**

Et on va calculer $\Delta C / \Delta D$

Le surcout (ΔC) lors de la mise en œuvre de A ou de B ou de A+B par rapport à la situation précédente ?

Quel avantage à mettre en œuvre A ou B ou A+B cad **quel gain en dose (ΔD)** pour passer d'une situation à la suivante?

Exercice

Option	Dose Collective résiduelle (homme mSv)	Coût (€)
Référence	20	0
A	18	500
B	16	4000
A+B	14	4500

Option	Gain en dose marginal ΔD	Surcoût ΔC	$\Delta C / \Delta D$
A	2	500	250
B	2	3500	1750
A+B	2	500	250

Que peut on dire en regardant ce tableau?
 Qu'est ce qui est raisonnable?

Exercice

A pris isolément est raisonnable, mais B pris isolément n'est pas raisonnable
 On supprime donc B pris isolément et on regarde ce qui se passe pour les 2 combinaisons d'options restantes : A et A+B

Option	Dose Collective résiduelle (homme mSv)	Coût (€)
Référence	20	0
A	18	500
A+B	14	4500

Option	Gain en dose marginal ΔD	Surcoût ΔC	$\Delta C/\Delta D$
A	2	500	250
A+B	4	4000	1000

A+B est elle une combinaison d'options raisonnable ?

Exercice

2/ quelle est la situation optimale?

Non Si la dose moyenne est de 8 mSv ; elle est dans la plage 0-10mSv et la valeur monétaire de référence est 650 euros: la situation optimale est alors A

3/ quel est l'impact si au lieu de 8 mSv la dose moyenne individuelle annuelle est de 12 mSv?

Si la dose moyenne est de 12 mSv ; elle est dans la plage 10 à 16 mSv et la valeur monétaire de référence est 1300 euros: on peut aller plus loin et l'optimum devient A+B

On voit dans ce cas de figure que dans le calcul de l'optimum on tient compte non seulement du détriment collectif mais aussi du niveau de risque individuel.

Quand il y a d'autres critères décisionnels

- Impact sur la disponibilité d'une installation
- Impact sur la durée d'une opération
- Impact sur le volumes de déchets et d'effluents
- Impact sur la Sûreté de l'installation
- Impact sur la sécurité (manutention, évacuation, accessibilité, encombrement,...)
- Impact sur d'autres risques (chimiques, anoxie, amiante, risques classiques,...)
- Impact sur des opérations ultérieures
-

L'analyse coût efficacité n'est pas du tout pertinente, **des méthodes multicritères** peuvent alors être employées



La démarche ALARA pour le blindage près des salles adjacentes aux blocs avec utilisation de générateurs mobiles et salles avec installations RX fixes

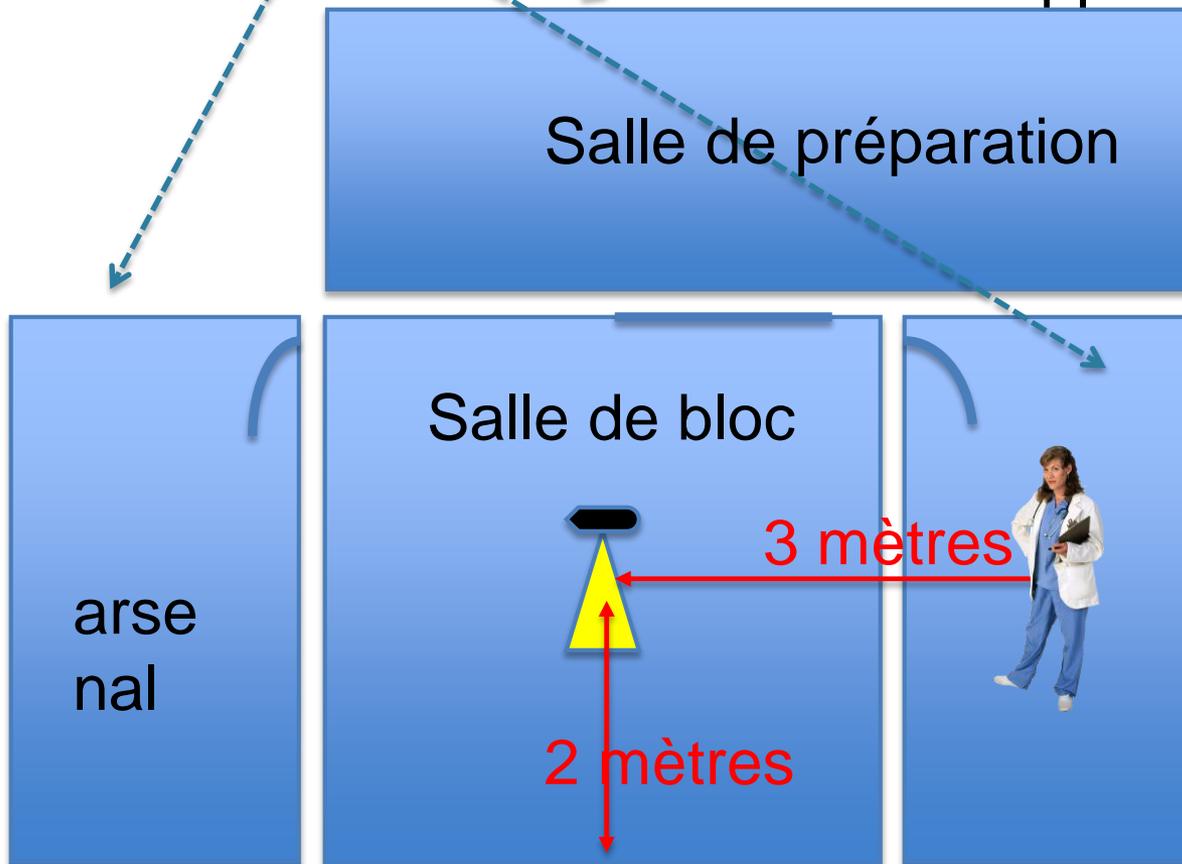
Christian Lefaure, ex conseiller de la CoRPAR

Salles attenantes

Pas optimisation de l'exposition professionnelle dans le

(déjà fait)

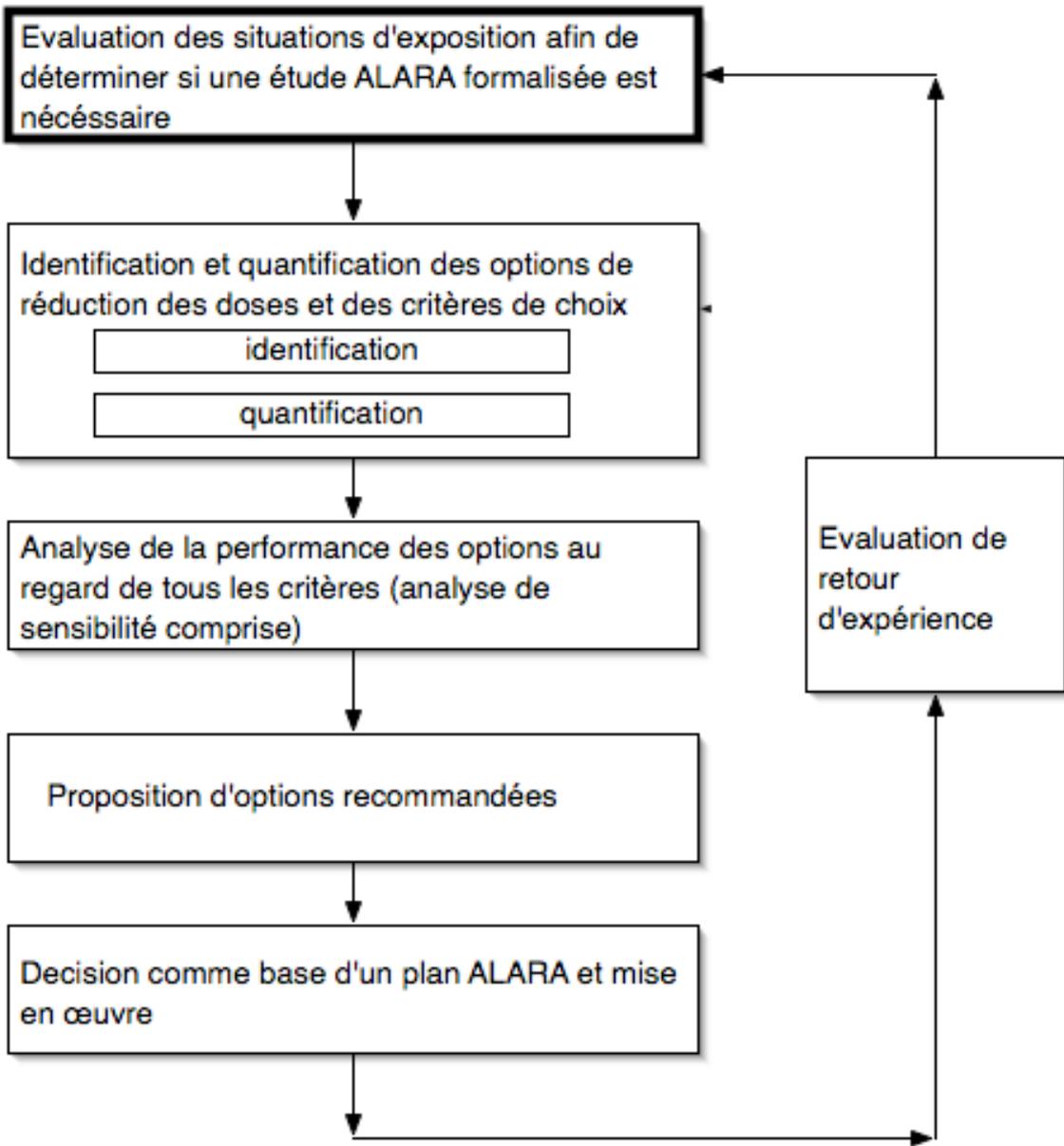
Que se passe-t-il dans les salles attenantes?



4 mètres

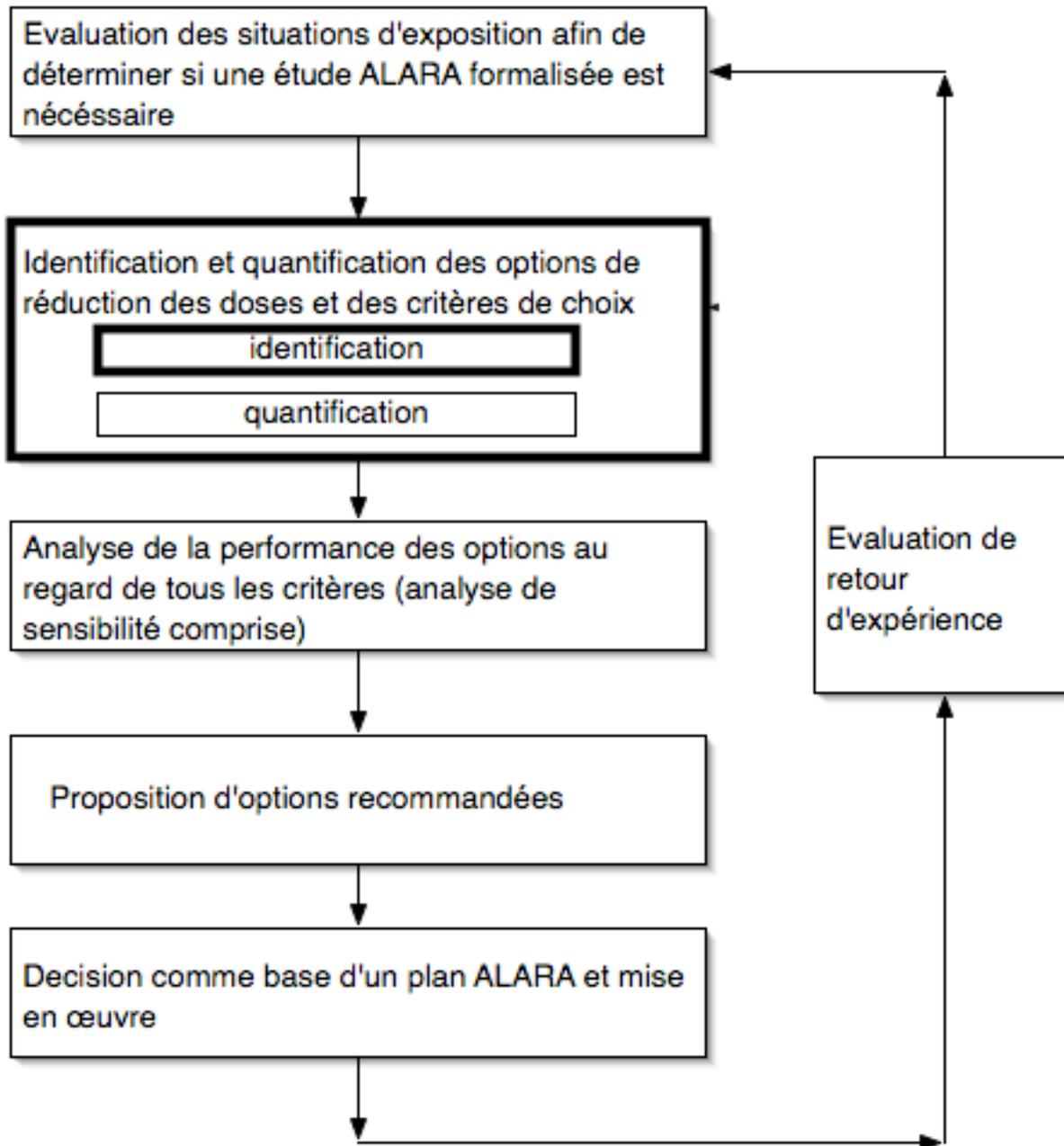
4 mètres

2 mètres



Les salles attenantes dans le service chirurgie (arsenal, salle de préparation, accès ou couloirs) ne seront pas considérées comme des zones publiques

Référence:
 salle de bloc de 4 m sur 4m (**pénalisant**) avec générateur au centre; 3 portes dont une coulissante et motorisée;



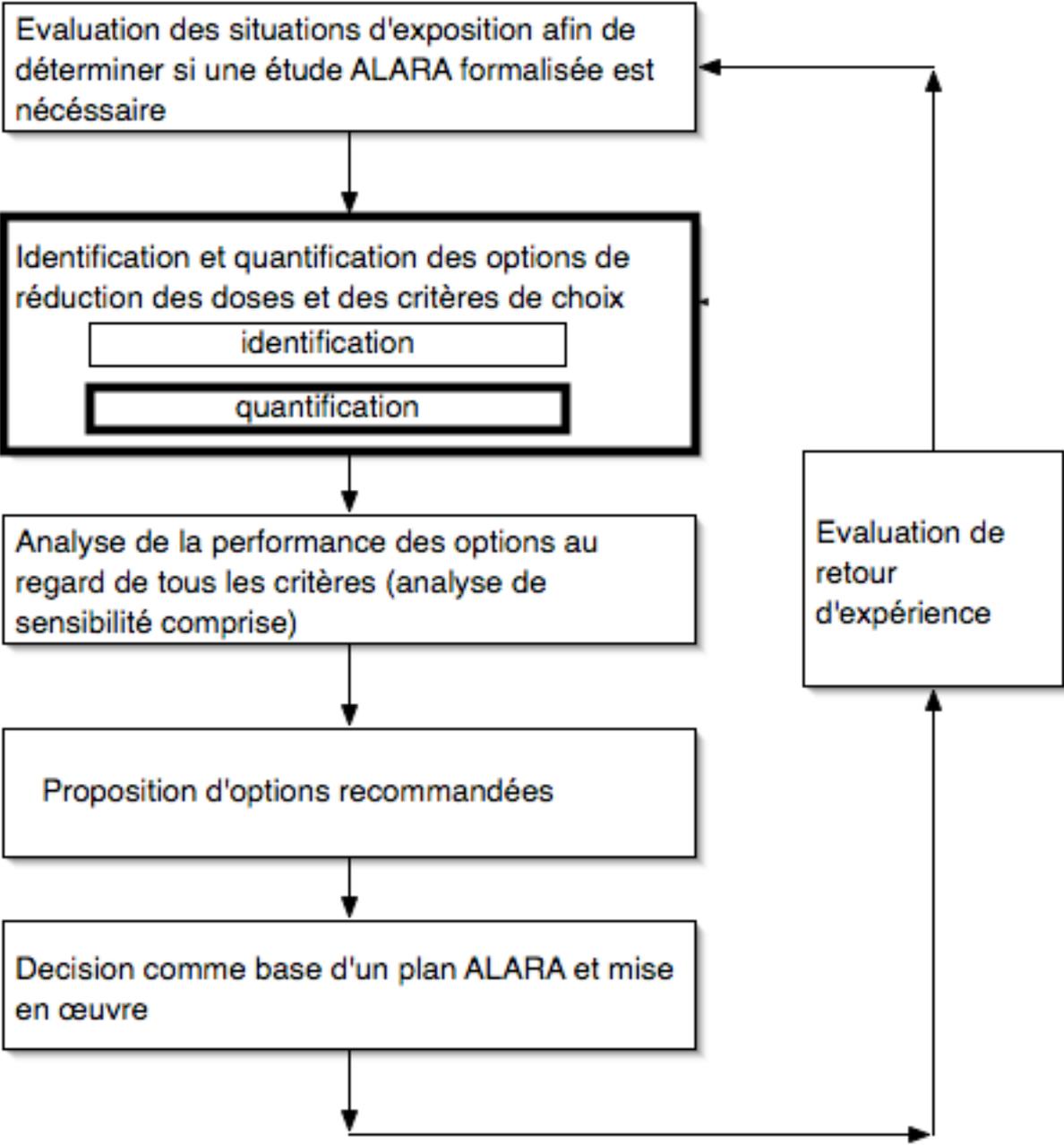
Options pour réduire les doses:

ne rien faire;
 plomber murs et portes :
 0,5 mm, 1mm, 1,5 mm,
 2 mm

Critères de choix:

Gains en dose collective
 Coûts de la mise en œuvre des options
 Coûts des travaux, préparation, travaux, mise à blanc,
 Coûts d'exploitations induits
 Manque à gagner
 Pas d'autre critère

ce sera donc une étude simple de type coût efficacité



Ce sera l'étape que nous allons développer le plus
 Ce sera une étude générique au niveau national

Des enquêtes auprès de plusieurs CHU (Lille Toulouse Reims) et Cliniques (région PACA) via les réseaux ont permis de déterminer des plages de

- 1/ ddd de scopie mesurés à 1m compris entre 3 et 12 μSv minute; donc 0,33 à 1,33 μSv min à 3 mètres
- 2/ ddd de graphie à 3 mètres Entre 10 et 15 μSv /minute
- 3/ fréquence (F) des recours aux RX par type de salle
- 4/ temps de scopie (TS) et graphie (TG) par type de salle
- 5/ nombre d'équivalent individus soumis aux rayonnements dans l'ensemble des salles attenantes (NbIS)

Les principales étapes: calcul des doses

Fréquence mensuelle des interventions utilisant des Rx selon le type de bloc

F

	fréquence par mois	
	mini	maxi
Salle de bloc avec appareil fixe	15	100
Salle de bloc utilisant un appareil mobile	5	35

sources CHU de Lille et Toulouse

Les principales étapes: calcul des doses

Temps moyen de scopie (pour les appareils fixes ou mobiles) et de graphie (pour les fixes uniquement) par examen selon le type de bloc (fonction des examens réalisés)

	TS		TG	
	temps de scopie en moyenne minutes par examen mini maxi		temps de graphie en moyenne minutes par examen mini maxi	
Salle de bloc avec appareil fixe	8	13	0,44	0,715
Salle de bloc utilisant un appareil mobile	0,3	0,7	-	-

Les principales étapes: calcul des doses

On a estimé la durée de vie de l'installation à 20 ans (en considérant que dans 20 ans tout le contexte clinique, chirurgical, radiologique, aura changé)

Temps moyens de scopie et de graphie calculés sur 20 ans selon le type de bloc (fonction des examens réalisés) F x 12 x 20 x (TS ou TG)

	temps de scopie sur 20 ans minutes		temps de graphie sur 20 ans minutes	
	mini	maxi	mini	maxi
Salle de bloc avec appareil fixe	28800	312000	1584	17160
Salle de bloc utilisant un appareil mobile	360	5880	-	-

Mais ces minutes de scopie ou de graphie sont plus ou moins « utilisées » dans les salles attenantes

Les principales étapes: calcul des doses

On a donc introduit le concept de « Nombre d'équivalents d'Individus Soumis aux rayonnement dans les salles attenantes » (NbIS)

(source interviews des cadres de chirurgie et manips dans le CHU de Toulouse)

On arrive ainsi à des NbIS moyens de 0,55 pour les salles utilisant un mobile et 1 pour les salles avec appareil fixe

Si NbIS est égal à 0,55 cela veut dire qu'il y aurait un peu plus de l'équivalent d'une demie personne en permanence pour l'ensemble des 2 ou 3 salles attenantes pendant que le générateur fonctionne; cela veut dire que l'on peut multiplier le temps d'exposition par ce facteur NbIS pour avoir le nombre total de minutes ou une personne a été exposée.

Ces valeurs de 0,55 et 1 nous sont apparues faibles (même si...) et nous avons retenu l'idée d'une analyse de sensibilité ultérieure avec NbIS égal à 1,5; 2; 3 puis 4

Les principales étapes: calcul des doses

Connaissant :

1/ **les débits** mesurés à un mètre, la distance de positionnement des travailleurs de (3m) et les coefficients d'atténuation de deux BA13 (5) et des diverses épaisseurs de plomb, on a pu calculer les ddd à 3m dans toutes les configurations

2/ **les temps** d'utilisation de ces débits sur 20 ans
On a donc calculé, tant pour les salles utilisant des mobiles il ne restait plus qu'à calculer les doses sur 20 ans tant que pour les salles avec des appareils fixes, des plages de doses pour la situation de référence que pour les différentes options envisagées

a/ **en partant** de la combinaison de tous les paramètres minimum observés lors des enquêtes de terrain
(ddd mini, Fmini, TSmini, TGmini, NbISmini)

Les principales étapes: calcul des doses en hommes microSievert

Doses dans les **salles attenantes** pour les blocs utilisant des **ap**

Options de protection	Doses 20 ans h μ Sv		Gain en dose sur 20 ans ; h μ Sv	
	Minima *	Maxima**	Minima *	Maxima**
Référence BA13	1,2	1568		
BA13 + 0,5 mm plomb	0,03	41,26	1,17	1526,74

Doses très faibles et au maximum inférieures à deux hommes - sur 20 ans et donc gains en doses maximaux très faibles.

Les principales étapes: calcul des doses

Doses dans les **salles attenantes** pour les salles avec des **app**

Options de protection	Doses 20 ans h.µSv		Gain en dose sur 20 ans ; h.µSv	
	Minima *	Maxima**	Minima *	Maxima**
Référence BA13	2798	134680		
BA13 + 0,5 mm plomb	74	3544	2724	131136
BA13 + 1 mm plomb	11	534	63	3010

Les doses (et les gains en dose) sont plus significatif(ve)s puisque l'on peut avoir jusqu'à 135 hommes – milli sievert dans la situation de référence. Le minimum reste cependant faible et de l'ordre de 3 hommes – milli sievert La mise en place d'une épaisseur de plomb de 5 mm



Les principales étapes: calcul des coûts



On travaillera dans un premier temps sur la modification de salles existantes, quels sont à votre avis les coûts à prendre en compte ?

Les principales étapes: calcul des coûts

Pour la modification de salles existantes, **les coûts à prendre en compte sont :**

- le coût de **déplacement** des matériels de la salle
- le coût **d'isolation** de la salle
- le coût **d'investissement** en plaques de plomb à rajouter, et leur installation
- le coût **d'achat** des nouvelles portes avec leur encadrement et la motorisation éventuelle; à ce coût d'achat il faudra ajouter le coût d'installation;
- le cout **d'assainissement** (remise à blanc) et de remise en état de la salle
- ensuite il conviendra de prendre en compte le **manque à gagner pour l'hôpital**, lié à l'immobilisation de

Les principales étapes: calcul des coûts

Coûts d'achat et d'installation pour des salles existantes

	Cout unitaire €		Cout total €
1 m ² plaque de plomb 0,5mm épaisseur yc installation	90	4 murs 48 m ²	4320
1 m ² plaque de plomb 1mm épaisseur yc installation	110	4 murs 48 m ²	5280
1 m ² plaque de plomb 1,5mm épaisseur yc installation	145	4 murs 48 m ²	6960
1 m ² plaque de plomb 2mm épaisseur yc installation	180	4 murs 48 m ²	8640
une porte coulissante y.c. moteur 0,5mm pb	13000	Une seule porte	13000
une porte coulissante y.c. moteur 1mm pb	13500	Une seule porte	13500
une porte coulissante y.c. moteur 1,5mm pb	14000	Une seule porte	14000
une porte coulissante y.c. moteur 2mm pb	14500	Une seule porte	14500
une porte battante y.c. moteur 0,5mm pb	2500	Deux portes	5000
une porte battante y.c. moteur 1mm pb	3000	Deux portes	6000
une porte battante y.c. moteur 1,5mm pb	3500	Deux portes	7000
une porte battante y.c. moteur 2mm pb	4000	Deux portes	8000
un voyant lumineux	500	Trois voyants	1500

*Source: services de maîtrise d'ouvrage des CHU
Et intrapolations à partir de fichiers internet*

Les principales étapes: calcul des coûts

Coûts de chaque option hors manque à gagner

option	Prépa salle	plombage	Mise à blanc	Requalif et réinstall	Cout investissement total	Surcout exploitation 10% surcout invest portes 20 ans
0,5 mm plomb	1000	23820	500	800	26120	12000
1mm plomb	1000	26280	500	800	28580	12000
1,5 mm plomb	1000	29460	500	800	31760	12000
2 mm plomb	1000	32640	500	800	34940	12000

Mêmes sources que précédemment yc pour le surcoût des portes



Les principales étapes: calcul des coûts



Coûts : le calcul du manque à gagner

Pas d'information disponible dans 3 CHU , ni directement dans les ARS

Plus d'infos dans les cliniques de PACA.

Et surtout tableaux de la valeur de chaque « **ghs** » ou **groupe homogène de santé** sur le site de L'Agence technique de l'information sur l'hospitalisation (ATIH) dénomination unique de chaque type d'acte médical tant dans le public que dans le privé.

A chaque « **ghs** » correspond une valeur en euro qui **est ce que reçoit l'établissement lorsqu'un acte est pratiqué**. Il y a quelques milliers de « ghs » dans le secteur public et un peu moins dans le secteur privé.

Les principales étapes: calcul des coûts

Coûts : le calcul du manque à gagner

Nombre de jours d'immobilisation du bloc : entre 15 jours et 40 jours ouvrés

Hypothèse retenue 15 jours *(Sources: 2 CHU)*

Nombre journalier d'actes par bloc (utilisant ou non les RX) entre 6 et 8 en orthopédie et 4 seulement pour des blocs avec interventions plus complexes

(Source

Sous

	Manque à gagner en € pour 15 jours d'immobilisation
Bloc utilisant un appareil mobile	450000
Bloc avec appareil fixe	600000

Les principales étapes: calcul des coûts

Coûts : le calcul du coût total

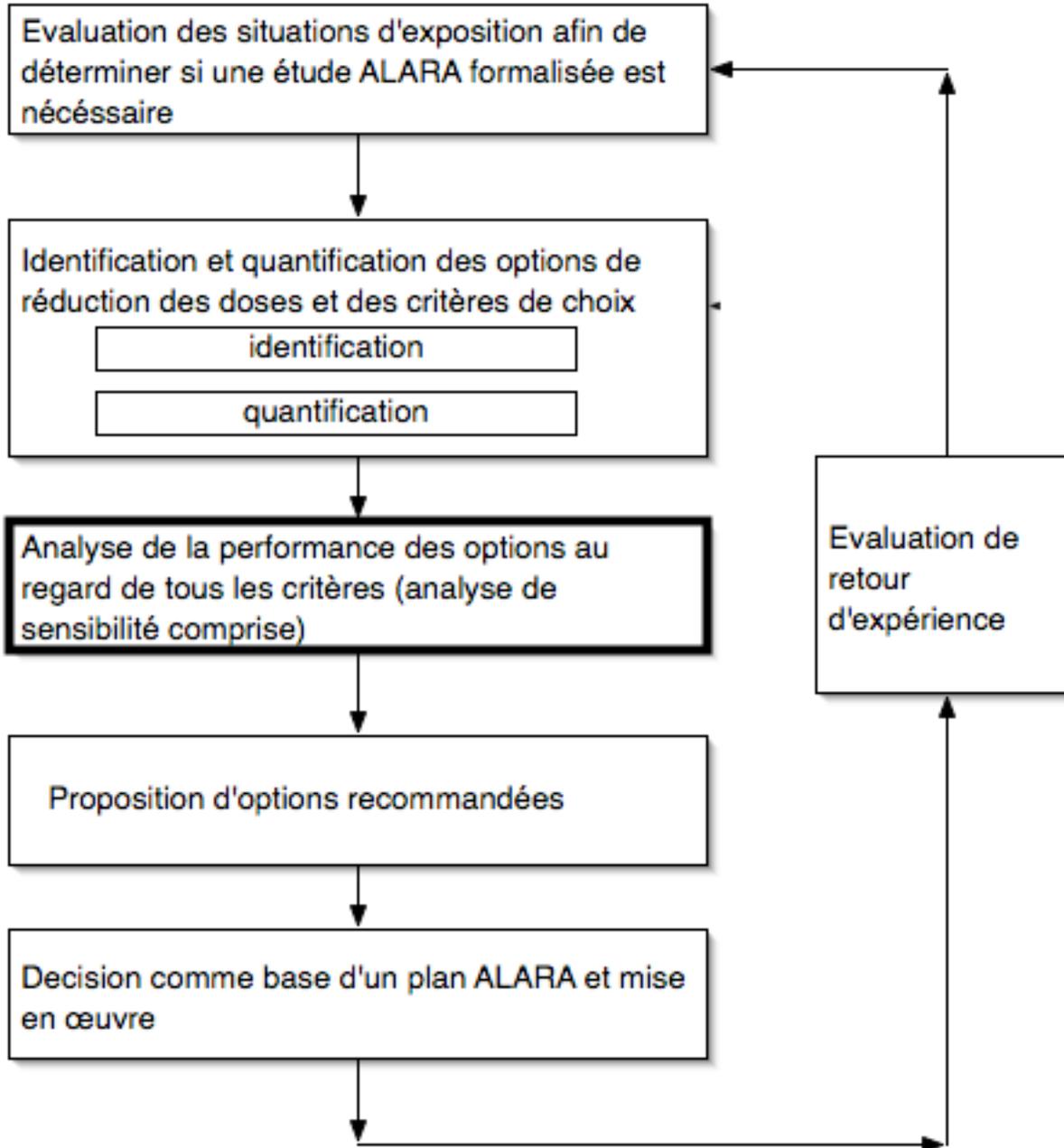
option	<i>Coût invest. total</i>	<i>Surcoût exploitation</i>	<i>manque à gagner si mobile</i>	<i>Manque à gagner Si app. fixe</i>	Coût total si app. mobile	Coût total si app. fixe
0,5 mm plomb	26120	12000	450000	600000	488120	638120
1mm plomb	28580	12000	450000	600000	490580	640580
1,5 mm plomb	31760	12000	450000	600000	493760	643760
2 mm plomb	34940	12000	450000	600000	496940	646940

On voit que le manque à gagner est de loin l'élément le plus important du coût de la mise en œuvre des options

Les principales étapes: calcul des coûts

Coûts : évolution du surcoût pour passer d'une option à

Options de protection	Bloc Utilisant un appareil mobile		Bloc avec un appareil fixe	
	Coût en €	Surcoût en €	Coût en €	Surcoût en €
Référence BA13	0	0	0	0
BA13 + 0,5 mm plomb	488120	488120	638120	638120
BA13 + 1 mm plomb	490580	2460	640580	2460



Les doses et coûts étant quantifiés pour chaque option, il s'agit maintenant d'analyser le ratio coût efficacité

Les principales étapes: calcul coût efficacité est ce bien raisonnable de plomber?

Pour les blocs utilisant des générateurs mobiles

Options de protection	coût homme-millisievert évité en €	
	Minima *	Maxima**
BA13 + 0,5mm plomb par rapport à BA13 seul	418 000 000	320 000

Même avec toutes les hypothèses maxima de gain en dose, le coût est disproportionné pour les générateurs mobiles

Les principales étapes: calcul cout efficacité est ce bien raisonnable de plomber?

Pour les blocs avec des générateurs fixes

Options de protection	cout homme-millisievert évité en €	
	Minima *	Maxima**
BA13 +0,5mm plomb par rapport à BA13 seul	234000	4900

Dans les hypothèses de gain en dose maximales, on est beaucoup plus proche de valeurs jugées raisonnables dans le nucléaire; Pour se rapprocher du « ratio coût de l'homme-millisievert évité raisonnable » il faudrait soit augmenter les doses épargnées, soit diminuer les coûts engagés.

Les principales étapes: analyse de sensibilité évolution du ratio dans les salles avec installation RX fixe

	25 jours	20 jours	15 jours	10 jours	5 jours	0 jours
NBIS = 0,5	8593	6875	5156	3630	2106	580
NBIS = 1	4297	3437	2578	1815	1053	290
NBIS = 2	2148	1719	1289	908	527	145
NBIS = 3	1432	1146	859	605	351	97
NBIS = 4	1074	859	645	454	263	73

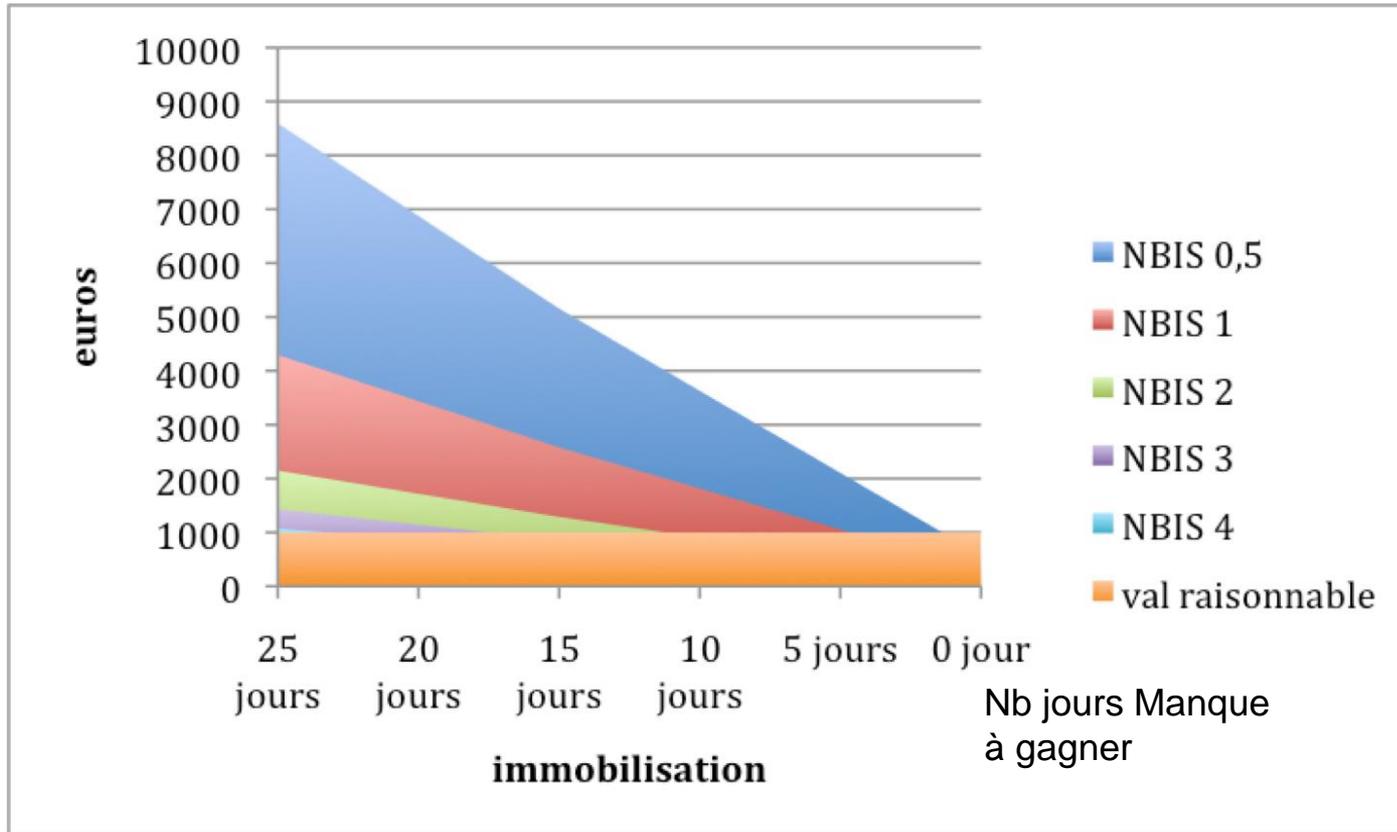
1000 euros par homme mSv évité étant la valeur jugée raisonnable ici en tenant compte de ce qui est jugé

raisonnable dans d'autres secteurs
Si le nombre de personnes soumises aux rayonnement est plus important que les hypothèses retenues précédemment, et si l'on peut réduire le manque à gagner (*par exemple en profitant d'autres travaux ou en déplaçant des interventions vers d'autres blocs non saturés*)

on voit que l'on peut atteindre des valeurs jugées raisonnable dans d'autres secteurs d'activité dans un grand nombre de cas de figures (*en nous rappelant cependant toutes les hypothèses*

Les principales étapes: analyse de sensibilité évolution du ratio dans les salles avec installation RX fixe

Cout de l'homme
mSv évité en €



NBIS: Nombre d'équivalent Individus Soumis aux RX dans les salles attenantes

Conclusion pour les salles existantes

Les analyses précédentes montrent que l'on peut faire des recommandations sur les options à retenir :

ne rien faire,

mettre un plombage de 0,5mm

mettre un plombage de 1 m.

Il ne s'agira bien sûr que de recommandations, mais elles pourront aider le décideur

La mise en place de protections biologiques sur les blocs utilisant des générateurs mobiles ne paraît jamais raisonnable quelques soient les étude de sensibilité sur les diverses hypothèses retenues

La mise en place de protections biologiques sur les salles

Conclusion générale

Mettre en œuvre la démarche ALARA dans cette étude est apparu « méthodologiquement » tout à fait simple et peut aisément être réalisé avec une approche « coût efficacité »

Par contre, en pratique dès lors qu'il s'agit de mesurer des coûts, l'étude démontre

1/ que « faire » de l'ALARA est un travail d'équipe qui ne peut que très rarement être le fait des seuls radioprotectionnistes. Dans ce cas de figure l'apport des gestionnaires est indispensable ;

2/ que les structures hospitalières sont encore mal adaptées, pour l'instant, à une bonne connaissance de leurs ressources et de leurs coûts.