

# UNE FEUILLE DE ROUTE COMMUNE POUR LA RECHERCHE EUROPEENNE DANS LE DOMAINE DE LA RADIOPROTECTION

**Nathalie Impens<sup>1</sup>, Rodolphe Gilbin<sup>2</sup>, Laurence Roy<sup>2</sup>, Jean-René Jourdain<sup>2</sup>,  
Thierry Schneider<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>SCK CEN, <sup>2</sup>IRSN, <sup>3</sup>CEPN  
nimpens@sckcen.be

Journée SFRP, 4 février 2020

# La feuille de route commune, c'est quoi?

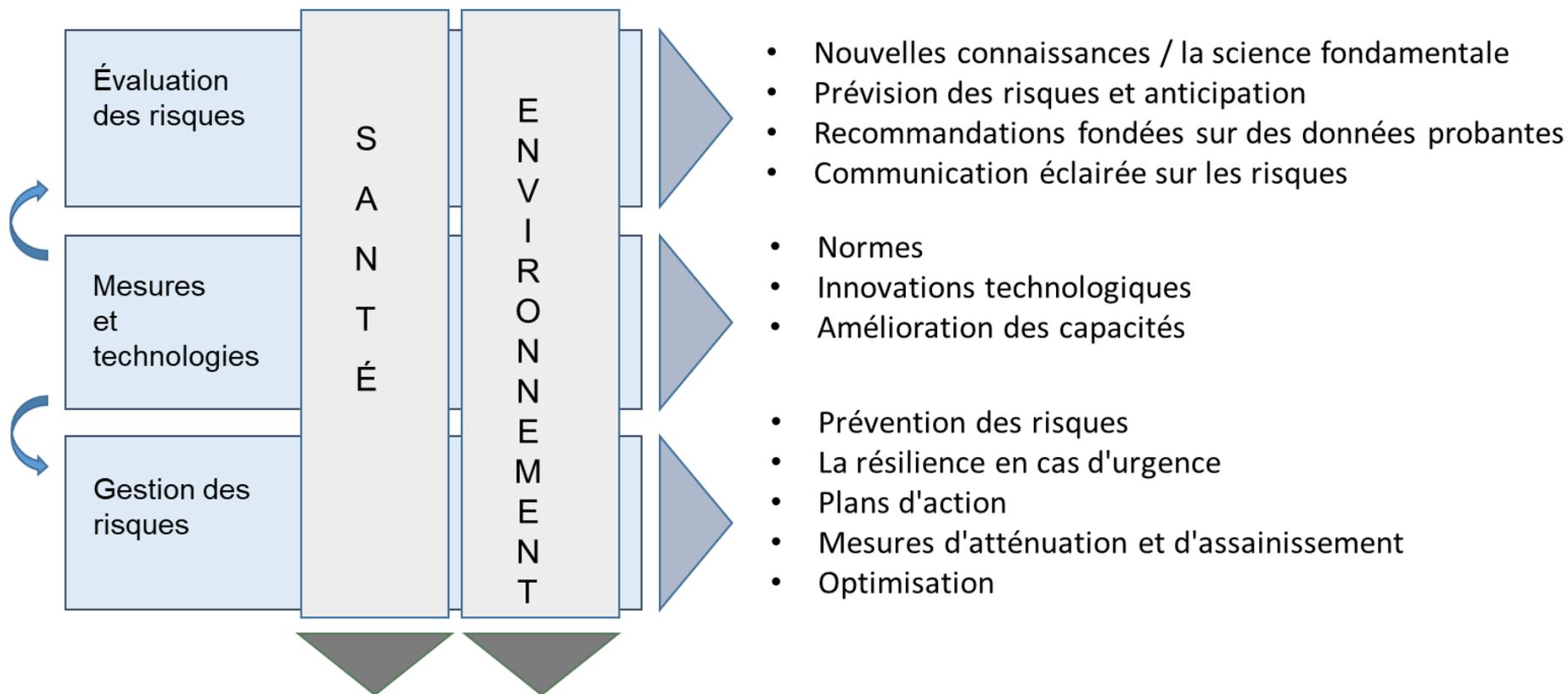
---

- Cette feuille de route commune définit les domaines prioritaires et les objectifs stratégiques de coopération et fournit une vision et un rôle pour un programme européen de recherche en radioprotection jusqu'en 2030 et au-delà.
- Elle présente une vue des défis de la recherche dans le contexte des scénarios d'exposition existants et potentiels, pertinents du point de vue de la société et de la radioprotection
- La feuille de route commune devrait servir de guide pour les futurs appels à la recherche dans les/la prochaine(s) décennies (document vivant !)
- Dans le cadre de ces défis de recherche, la feuille de route commune présente des questions de recherche qui, si elles sont résolues avec succès, peuvent « changer la donne »

# Associations européennes de recherche en radioprotection contribuant à la feuille de route commune sur la recherche en radioprotection



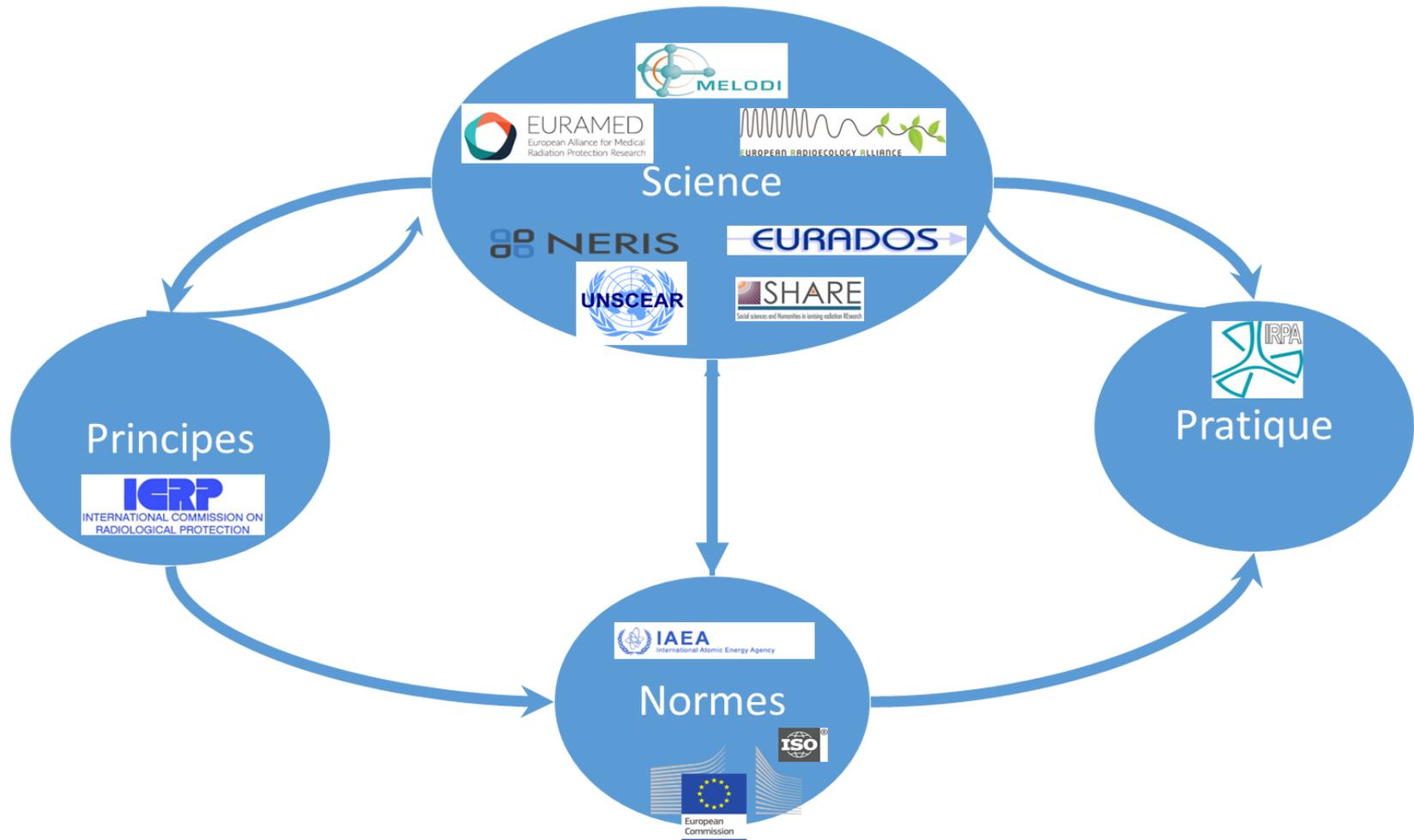
# L'impact sociétal de la recherche en radioprotection



- Nouvelles connaissances / la science fondamentale
- Prévion des risques et anticipation
- Recommandations fondées sur des données probantes
- Communication éclairée sur les risques
- Normes
- Innovations technologiques
- Amélioration des capacités
- Prévention des risques
- La résilience en cas d'urgence
- Plans d'action
- Mesures d'atténuation et d'assainissement
- Optimisation

Guides, recommandations, règlements  
 Approche graduée de la gestion des risques  
 Bonnes pratiques  
 Des méthodes fiables

# Rôle de la science dans l'optimisation de la radioprotection et du système de radioprotection



# Les origines de la radiation ionisante / les différents scénarios d'exposition

RP dans différents scénarios		Origine anthropique	Origine anthropique	Origine anthropique	Origine naturelle
Classification CIPR	<b>Contextes</b> → <b>Scénarios d'exposition</b> ↓	Thérapie médicale et diagnostic	Applications nucléaires et applications des RI autres que médicales	Utilisation des ressources naturelles (NORM)	Irradiation naturelle
Planifiée	1. Médical / Patients	Patients			
Planifiée	2. Applications industrielles / public & environnement		Rejets des sites nucléaires en fonctionnement normal	Rejets de l'industrie traitant des NORM	
Planifiée	3. Travailleurs	Personnel médical et de production de produits radiopharmaceutiques	Personnel des installations nucléaires et utilisation de sources RI industrielles	Personnel des industries génératrices de NORM	Personnel aéronautique et astronautes
Existante	4. Industrie nucléaire ou utilisant des NORM / public & environnement		Sites préexistantes du cycle du combustible nucléaire ou autres installations nucléaires	Sites préexistantes NORM	
Existante	5. Irradiation naturelle / public & environnement				Rayonnement naturel élevé
D'urgence	6. Accident nucléaire ou radiol. / public, travailleurs, environnement	Accident/incident avec des sources médicales / radiopharmaceutiques	Accidents dans les installations nucléaires	Rejets accidentels de l'industrie des NORM	

# Les défis en recherche de radioprotection, et leur pertinence dans les différents scénarios d'exposition

Défis de recherche	Scénarios	Plateformes
A. Comprendre et quantifier les effets d'une exposition aux rayonnements ionisants sur la santé	1-7	MELODI + tous
B. Améliorer les concepts de grandeurs dosimétriques	1-7	EURADOS + tous
C. Comprendre les effets des rayonnements ionisants sur le biote non humain et les écosystèmes	1-2, 4-7	ALLIANCE, NERIS, EURADOS, MELODI, SHARE
D. Optimiser l'utilisation médicale des rayonnements ionisants	1, 3	EURAMED, EURADOS, MELODI, SHARE
E. Améliorer la radioprotection des travailleurs	3, 6, 7	EURADOS, MELODI, EURAMED, NERIS, SHARE
F. Une approche intégrée de l'exposition environnementale et de l'évaluation des risques liés aux rayonnements ionisants	2, 4-7	ALLIANCE, NERIS, MELODI, EURADOS, SHARE
G. Optimiser la préparation et l'intervention en cas d'urgence et de situation post-accidentelle	6, 7	NERIS + tous
H. La radioprotection dans la société	1-7	SHARE + tous

# Les « game changers », c'est quoi?

---

- Les « game changers » sont dérivés des défis très larges de la recherche
- Ce sont des questions de recherche qui, si elles sont résolues avec succès, peuvent « changer la donne », c'est-à-dire
- Avoir une incidence significative et renforcer le système et/ou la pratique de la radioprotection pour l'homme et/ou l'environnement en
  - 1) améliorant sensiblement les bases de données,
  - 2) élaborant des principes et des recommandations,
  - 3) élaborant des normes sur la base des recommandations et
  - 4) améliorant la pratique.

# Les Game Changers (1/3)

A1. Définir les risques des effets non cancéreux à des niveaux de dose faibles et intermédiaires (100 - 500 mGy et moins).

A2. Intégration des estimations épidémiologiques du risque de cancer avec une compréhension plus complète de la pathogenèse des maladies radiologiques pour améliorer l'évaluation du risque de cancer

A3. Caractérisation et quantification de la variation de la réponse aux rayonnements ionisants et du risque entre les sous-groupes de population/individus en raison de facteurs génétiques, du sexe, des facteurs de comorbidités, de l'exposition spécifique des zones malades chez les patients, des facteurs liés à l'environnement et au mode de vie et des interactions entre ceux-ci en fonction des niveaux de dose.

A4. Définir comment les variations temporelles et spatiales de dépôts de doses influent sur le risque d'effets sanitaires à la suite d'une exposition aux rayonnements ionisants.

B1. Améliorer la compréhension des corrélations spatiales des interactions du rayonnement ionisant avec la matière en améliorant les techniques de mesure et de simulation.

B2. Quantifier les corrélations entre la structure de la trace et les dommages causés par les rayonnements ionisants.

C1. Lever la controverse concernant les effets sur les espèces sauvages décrits dans les zones d'exclusion de Tchernobyl et de Fukushima.

C2. Déterminer les effets du rayonnement ionisant sur le fonctionnement des écosystèmes.

## Les Game Changers (2/3)

D1. Développer de nouvelles applications médicales ou optimiser les applications existantes en fonction des applications liées à la pathologie, par exemple les procédures interventionnelles, les approches basées sur la tomodensitométrie, les thérapies ciblées en médecine nucléaire et les thérapies à base de particules, pour améliorer la protection des patients en s'appuyant sur des procédures améliorées de dosimétrie personnalisée.

D2. Application et développement de méthodes d'Intelligence Artificielle (IA) pour améliorer la protection des patients en s'appuyant sur des structures de données cliniques appropriées et en tenant compte des limites de l'utilisation de l'IA en particulier dans le domaine médical.

D3. Etude des principaux défis et problèmes pour le transfert des développements vers la pratique clinique, l'évaluation des raisons conduisant à de grandes différences à travers l'Europe, la définition de normes pour la justification des applications en fonction des caractéristiques individuelles des patients et des évaluations bénéfices-risques des procédures, une éducation dédiée garantissant la meilleure protection radiologique possible pour les patients

E1. Développement de modèles biocinétiques et d'une dosimétrie personnalisée qui permettront d'améliorer l'évaluation de l'exposition interne

E2. Développement de la dosimétrie individuelle en temps réel des travailleurs en exploitant les développements des nouvelles technologies connectées

E3. Développement d'un dosimètre neutrons individuel facile d'utilisation

## Les Game Changers (3/3)

F1. Obtenir une prévision robuste de la contamination radiologique de la chaîne alimentaire humaine, pour une évaluation intégrée des doses et des risques dans les situations (post)accidentelles

F2. Identifier et quantifier les principaux processus qui influencent le comportement des radionucléides dans les situations de contamination environnementale existantes.

F3. Intégration de l'évaluation et de la gestion des risques (évaluations cohérentes de l'exposition des humains et des espèces sauvages ; intégration des risques liés aux rayonnements ionisants et aux autres facteurs de stress).

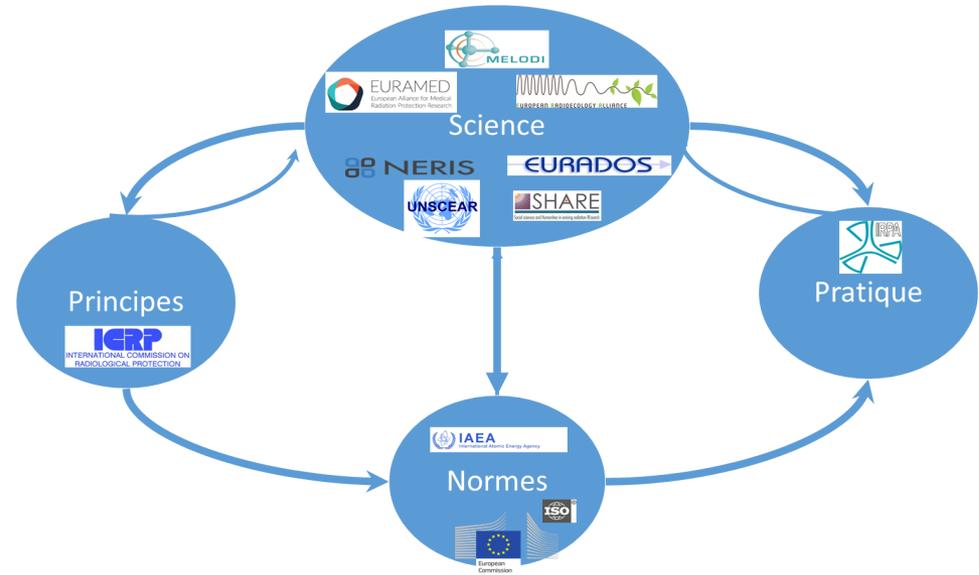
G1. Modification des évaluations d'impact radiologique, de l'aide à la décision et de la stratégie d'intervention et de réhabilitation grâce à l'intelligence artificielle et aux big data.

G2. Poursuite de l'élaboration de méthodes (i) d'évaluation et de gestion des risques et (ii) de capacités technologiques permettant de faire face aux nouvelles menaces et aux scénarios d'accident découlant des technologies nucléaires et radiologiques nouvelles et futures.

H1. Meilleure harmonisation de la recherche et de la pratique en RP en prenant compte les valeurs, les besoins et les attentes de la société, grâce à des mécanismes efficaces de transposition de la recherche, d'élaboration d'approches systématiques pour l'inclusion des dimensions sociétales à tous les niveaux du système de RP et d'innovation méthodologique permettant la transdisciplinarité dans la recherche en RP

# Les utilisateurs finaux de la recherche

- UNSCEAR
- CIPR
- AEIA
- législateurs
- régulateurs
- personnel soignant
- opérateurs
- autorités locales
- communauté de la radioprotection
- la société



## Challenge A – Understanding and quantifying the health effects of ionising radiation exposure

<p>Drivers /Exposure situations</p>	<p>Where present at low doses, these risks could lead to re-consideration of dose limits as well as impact on tissue weighting factors, radiation weighting factors and calculation of detriment. A move to a more individualised approach to protection might be required. Relevant to all exposure situations</p>		
<p>Game changers</p>			
<p><b>A1: Non-cancer disease risks – quantification and mechanistic understanding</b></p>	<p>Building and maintaining relevant cohorts Targeted studies of potential contributory mechanisms Target cell identification and quantification</p>	<p>Periodic analyses Building the relevant AOPs</p>	<p>Improved risk quantification Application to improve risk estimation</p>
<p><b>A2: Integration of epidemiological estimates of cancer risk with understanding of radiological disease pathogenesis</b></p>	<p>Studies of specific pathways Identification of mutational signatures and other biomarkers of radiation cancers Maintaining established cohorts</p>	<p>Identification and quantification of target cell populations Development of models to integrate mechanisms and epidemiology Evaluation of existing non-radiation cohorts</p>	<p>Integration into AOP Application for risk assessment Periodic analyses</p>
<p><b>A3: Characterisation and quantification of the variation of responses and risk between population sub-groups/individuals due to genetic factors, environmental and lifestyle factors</b></p>	<p>Tissue reactions: clinical studies mechanistic studies Late developing tissue reactions: Definition of mechanisms population studies Cancers: continuation and initiation of epidemiological studies of risk modification experimental studies of risk modification</p>		<p>Development of predictive assays</p>
<p><b>A4: Define how the temporal and spatial variations in dose delivery affect the risk of health effects following radiation exposure</b></p>	<p>Improved understanding of inter and intra-organ dose distribution Experimental investigation of radiation quality effects</p>	<p>Identification of improved cohorts for epidemiological investigation – periodic analyses Biophysical modelling of dose and effects</p>	<p>Evaluation of <math>W_T</math> Assessment of <math>W_R</math></p>
<p>Required science and technology</p>	<p>Science: Improved epidemiological cohorts, evaluation of non-radiation cohorts, animal models of radiation disease, high-quality exposure assessment and dosimetry, application of radiobiology, molecular and cell biology, omics Technology: Low dose/dose-rate exposure facilities, advanced statistical methods, well curated bio-sample collections bioinformatics</p>		
	<p>2020</p>	<p>2030</p>	<p>2040</p>

## Challenge B – Improving the concepts of dose quantities

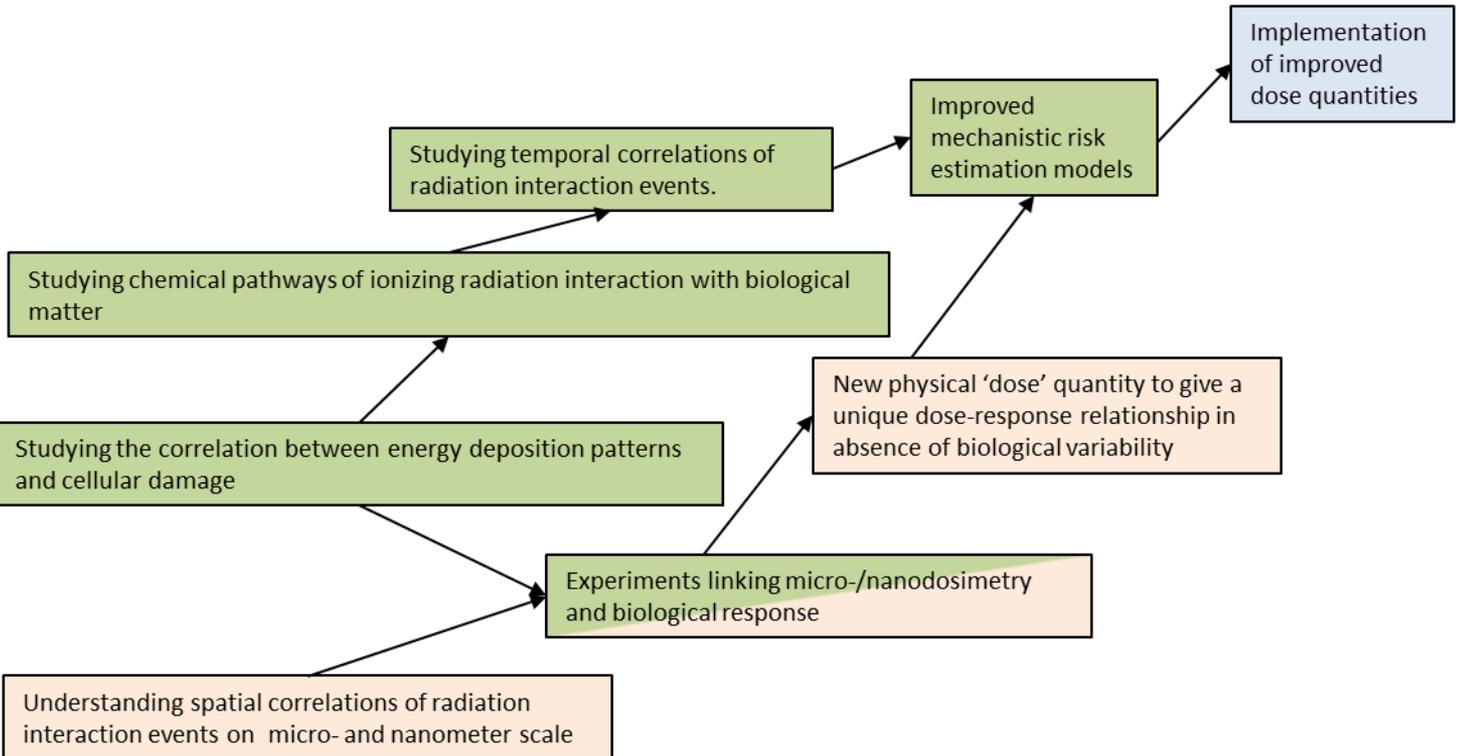
Drivers  
/Exposure situations

Absorbed dose is not an adequately detailed description of the energy deposition for correlation with biological consequences because (a) the dose-response relation for a particular biological system depends on the radiation parameters (e.g., type, energy) and the stochastic pattern of energy deposition, (b) different biological systems have different susceptibilities for producing radiation-induced effects, (c) many biological processes are non-linear and (d) biological effects may differ depending on the temporal pattern of exposure.

Game changers

Over-all goal of challenge B: To improve protection and operational quantities used in dosimetry

B2: To quantify correlations between track structure and radiation damage



B1: To improve understanding of spatial correlations of radiation interaction events

Needed Science and Technology

1. Advanced detectors for measuring ionising radiation interaction at the micro- and nanometer scale
2. Metrological methods for improved detection of radiation-induced biological endpoints with automated assays
3. Improved multi-scale Monte Carlo simulations for predicting radiation-induced damage



# Challenge C – Understanding radiation-related effects on non-human biota and ecosystems

<p>Drivers /Exposure situations</p>	<p>The need for an explicit demonstration of the protection of the environment from radioactive releases is now recognized. However, the available knowledge is related to the risk to individual organisms, whereas populations, ecological function and biodiversity are more relevant from a management perspective. There is still scientific disagreement on the actual extent of the radiation effects on wildlife populations in contaminated areas.</p>
<p>Game changers</p>	
<div data-bbox="23 568 440 715" style="border: 2px solid red; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <p><b>C1: Resolving the controversy with regard to the effects on wildlife reported in the Chernobyl and Fukushima exclusion zones</b></p> </div> <div data-bbox="23 948 440 1158" style="border: 2px solid red; padding: 5px;"> <p><b>C2: Determine the effects of radiation on ecosystem functioning</b></p> </div>	<div data-bbox="484 329 1501 544" style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin-bottom: 10px;"> <p><b>Characterize the influence of exposures on populations in contaminated environments</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Re-interpretation of data on long-term ecological effects of radiation</li> <li>• Field studies, transplant experiments</li> <li>• Multi- trans-generational effects experiments</li> <li>• Comparison between field and lab studies</li> <li>• Understand hereditary &amp; adaptation effects</li> </ul> </div> <div data-bbox="484 554 1501 768" style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin-bottom: 10px;"> <p><b>Identify the key factors determining the variation in populations' sensitivity to radiation</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Variation due to genetic &amp; metabolic factors</li> <li>• Influence of species life-cycle specificities</li> <li>• Population-effect benchmark derivation</li> <li>• Variation due to environment &amp; behavior</li> <li>• Species Sensitivity Distribution update</li> </ul> </div> <div data-bbox="651 778 1783 925" style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin-bottom: 10px;"> <p><b>Identify and validate biomarkers of exposure and effects that are relevant at the population's level</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Primary mode of action of IR – Identify biomarkers</li> <li>• Adverse Outcome Pathway and Systems Biology approach                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Biomarkers testing</li> <li>• Biomarkers toolbox available for application</li> </ul> </li> </ul> </div> <div data-bbox="855 948 1895 1158" style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Effects at community level (micro- meso-cosmos) &amp; exposure characterization under realistic conditions                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ecological models for risk assessment</li> <li>• Ecosystems dynamics modelling</li> <li>• Impact on ecosystem services</li> </ul> </li> </ul> </div>
<p>Required science and technology</p>	<p>Science: field effect data, laboratory models to identify radiation effects at the population/community level, high-quality exposure assessment and dosimetry, application of omics and AOP for the identification and validation of biomarkers Technology: Well curated and shared datasets and sample collections from Chernobyl and Fukushima exclusion zones, Low dose/dose-rate exposure facilities, Advanced statistical methods</p>

2020

2025

2030

2035

2040



## Challenge D – Optimizing medical applications of ionizing radiation and harmonizing practices throughout Europe

Drivers /Exposure situations	It is of great importance to optimise the medical applications of ionising radiation for the diagnosis and treatment using individualized approaches and harmonise practises throughout Europe especially with respect to the protection of human health from the harmful effects of ionising radiation and with respect to the potential benefit of the use of ionising radiation for the individual patient.
Game changers	
D1: To develop / optimize medical applications of ionizing radiation using personalized dosimetry	<p>Development of personalized dosimetry in diagnostic and interventional radiology, new or optimized interventional procedures and CT-based approaches, targeted therapies in nuclear medicine and particle based therapies to improve patient radiation protection. These optimized methodologies can reduce exposure while maintaining or even improving clinical outcome and harmonize medical radiation protection within Europe.</p> <p>Personalized dosimetry in imaging      New optimized approaches in imaging and radiation therapy      Medical RP harmonization in Europe</p>
D2: Application and development of AI methods to improve patient radiation protection	<p>Systematic and organized collection of big data for medical radiation protection, development of suitable national and European data structures for AI methodologies, development of AI tools to improve patient and staff radiation protection, understanding the limits of the use of AI in the medical radiation protection field.</p> <p>Development of imaging and dose biobanks      Development of AI methodologies      Wide application of AI in clinical practice to optimize procedures</p>
D3: To transfer research developments into clinical practice and define standards for exposure justification	<p>Investigating key challenges and problems for the transfer of developments into clinical practice, evaluate conditions leading to large differences throughout Europe, developing accreditation processes based on quality and safety, defining standards for justification of applications depending on individual patient characteristics and benefit-risk evaluations of procedures.</p> <p>Improved radiation risk appraisal      Development of accreditation processes      Clinical Decision Support in European hospitals for referral guidelines</p>
Required science and technology	Physical and biological models and criteria for medical use of ionising radiation; Methods for individualized dosimetry, QA methodology for AI methods; New radiation generation technologies.





# Challenge F – Integrated approach to environmental exposure and risk assessment from ionising radiation

Holistic approaches to risk assessment are needed to ensure sustainable and safe use of radioactive substances and to protect both human and ecosystem health. The development of improved international guidance on the management of legacy sites, that often represent complex “objects” to be managed, requires a multistage process including site characterization, definition of objectives for remediation, impact and risk assessment, and evaluation and selection of remedial options.

Drivers  
/Exposure situations

Game changers

**F1: Deriving a robust prediction of radiological contamination in the human food chain, for an integrated dose and risk assessment of (post-)emergency situations**

- Meta-analysis and data re-interpretation, data management
- Identify most promising models and adapt
- Upgraded models for dispersion and transfer assessment in marine and surface water ecosystems
- Upgraded models dispersion and transfer assessment in terrestrial ecosystems (agricultural, forestry, natural and urban)
  - Resultant models applicable in any relevant environment, time-evolution, food type

**F2: Identifying and quantifying the key processes that influence radionuclide behaviour in existing environmental contamination situations**

- Meta-analysis and data re-interpretation and advanced data management
- Identify most relevant (mechanistic) models and adapt
  - Upgraded models for dispersion and transfer assessment in relevant environments/ecosystems
    - Models for accurate dose impact and assessment
      - Guidance for the sustainable management (including remediation approaches) of contaminated sites

**F3: Integrating risk assessment and management (consistent exposure assessments for humans and wildlife; risk integration for radiation and other stressors)**

- Identification stages of different assessment processes to be integrated and structure/construct datasets, models, DSS
- Dispersion, transfer, impact assessment models (F1 & F2 outputs)
  - Integrate uncertainty and variability from exposure and effects characterisation into risk characterization
    - Integrate human and environmental protection frameworks
      - Integrate the risk assessment frameworks for ionising radiation and chemicals (eg. msPAF, « exposome » approach)
        - Provide a multi-criteria perspective including decision support systems for an optimised decision-making

Required science and technology

Uncertainty consideration in all its dimensions (monitoring, process knowledge, conceptual models, parametric, societal factors), Advanced statistical methods, advanced data management, Well curated and shared environmental monitoring datasets for models validation

2020

2025

2030

2035

2040



## Challenge G – Optimise emergency and recovery preparedness and response

Drivers  
/Exposure situations

There is a need to develop better risk assessment and risk management approaches allowing to deal with new reactor concepts, new nuclear and radiological technologies (**game changer new threats**). Artificial Intelligence and Big Data provide means to deal with by improving decision support and response and recovery strategies (**game changer AI, big data**).

Game changers

**G1: Change of radiological impact assessments, decision support and response and recovery strategy:**  
Artificial Intelligence and big data

Development of better methods for decision making under high uncertainties. Use of Artificial intelligence and big data to developed Decision Support Systems allowing the end user to define his or her objectives/goals first and the system identifies the best possible strategies to achieve the specified objectives/goals with pros and cons automatically.

G1: activities related to participatory processes

Further developments on the participatory processes in emergency and recovery situations

G1: activities related to holistic management of the radiological situation

Improve the understanding of secondary effects health consequences, economic, societal and ethical aspects including the environmental characteristics

Development of better mechanistic models that better predict the evolution of the contamination under all possible conditions

Improved countermeasure strategies with better implementation and lifting strategies tailored to the area and situation (e.g. use of OILs)

Development of improved decontamination strategies and waste management procedures

**G2: To cope with novel threats and accident scenarios arising from new and future nuclear and radiological technologies:** activities related to combining measurements

Development of processes and tools for integrating the monitoring results from experts and lay people, use of advanced monitoring

G2: activities related to combination of modelling and simulation

Combination of Inverse modelling and monitoring techniques via data assimilation techniques for source term reconstruction and detecting of unknown release locations

G2: activities related to improved modelling

Development of inverse modelling techniques for unknown release points

Required science and technology

Improved simulation models, combined monitoring, countermeasure strategies, decision making, uncertainty handling, stakeholder engagement, communication

2020

2025

2030

2035

2040



## Challenge H – Radiation Protection *in* Society

Drivers  
/Exposure situations

There is a need for further integration of ethical and societal dimensions into both RP research and development and across the whole RP system. To meet current, future and currently unknown challenges, research to better understanding and improve methods integration, allowing to deal with new technological challenges and the changing nature of society.

Game changer

### H1. Better alignment of research and practice in RP with the values, needs and expectations of society:

- Effective mechanisms for RP research translation into practice, policy or further research

- Development of systematic approaches to inclusion of societal dimensions at all levels of the RP system

- Methodological innovation enabling transdisciplinarity in radiation protection research

Co-create integrated research designs to address priority research topics for each Scenario

Development of better conceptual frameworks and models to integrate diverse radiation protection knowledge for all Scenarios.

Gap analysis of ethical and societal dimensions of emerging technological research, and responses

Develop and implement novel forms of civic engagement, including advancement of innovative technological interventions.

Characterise and embed reflexive research and innovation RP practices.

Build capacity for anticipatory research culture and RP structures

Build and test new approaches to build and maintain trust

Further advance theory on science and society interactions in RP

Develop tools for anticipation, integrating perspectives from multiple voices (expert and lay)

Revise theory and tools in light of new developments

Develop combinations of qualitative and quantitative methods via novel research designs for holistic understanding of RP situations.

Test methods systematically across RP scenarios to deliver new insight.

Required social sciences and humanities

Improved methods and concepts, new theory, decision making, civic engagement, communication

2020

2025

2030

2035

2040



- Les ressources vont déterminer en partie l'échelle de temps et les priorités
- En Europe, plus de 200 instituts travaillent sur la recherche en radioprotection. Ce sont des ressources nationales humaines et d'infrastructures.
- En plus il y a les appels à projets de recherche d'EURATOM
- EURATOM prévoit la collaboration et le cofinancement sur des thématiques de recherche transversales
- Des initiatives sont lancées pour la coordination mondiale de la recherche sur les effets des faibles doses

1. Cette présentation est la première d' une série de consultation des parties prenantes
2. Nous allons consulter la communauté scientifique au sens large, les parties prenantes, les décideurs et les organismes de financement
3. Publication de la première version finale de la feuille de route commune pendant le projet CONCERT
4. Présentation à l'IRPA-15, comme contribution à la discussion de la coordination mondiale de la recherche sur les faibles doses
5. Négociations avec les organismes de financement pour un plan à long terme
6. POST-CONCERT: mise à jour du document en fonction de l'état de l'art

# Merci pour votre attention

Questions?

[nimpens@sckcen.be](mailto:nimpens@sckcen.be)

## *Disclaimers*

***This project has received funding from the Euratom research and training programme 2014-2018 under grant agreement No 662287.***

***This publication reflects only the author's view. Responsibility for the information and views expressed therein lies entirely with the authors.***

***The European Commission is not responsible for any use that may be made of the information it contains.***