



HAL
open science

Un atelier sur l'avenir de la radioprotection

D. Laurier, T. Schneider

► **To cite this version:**

D. Laurier, T. Schneider. Un atelier sur l'avenir de la radioprotection. Radioprotection, 2024, 59 (4), pp.256-260. 10.1051/radiopro/2024043 . hal-04851719

HAL Id: hal-04851719

<https://hal.science/hal-04851719v1>

Submitted on 20 Dec 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Un atelier sur l'avenir de la radioprotection

D. Laurier^{1,*} , T. Schneider²  au nom des intervenants et des panélistes^a

¹ Institut de Radioprotection et de sûreté nucléaire, PSE-Santé, Fontenay-aux-Roses, France.

² Centre d'étude sur l'Évaluation de la Protection dans le domaine Nucléaire (CEPN), Fontenay-aux-Roses, France.

Reçu le 30 août 2024 / Accepté le 30 août 2024

Résumé – Un atelier sur l'avenir de la radioprotection a été organisé conjointement par l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), le Centre d'étude sur l'évaluation de la protection dans le domaine nucléaire (CEPN) et la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) en mars 2024. L'objectif était de présenter les développements récents au sein de la CIPR et d'échanger avec les représentants de la communauté française de la radioprotection sur l'examen et la révision du Système de protection radiologique. Cet article présente une synthèse des principaux points de discussion abordés durant cet atelier.

Mots clés : radioprotection / CIPR / recommandations générales

Abstract – Workshop on the future of Radiological Protection. A workshop on the future of radiological protection was jointly organised by the *Institute for Radiological Protection and Nuclear Safety (IRSN)*, the *Nuclear Protection Evaluation Centre (CEPN)* and the *International Commission on Radiological Protection (ICRP)* in March 2024. The aim was to present recent developments within the ICRP and to exchange views with representatives of the French radiological protection community on the review and revision of the System of radiological protection. This article presents a summary of the main points discussed during the workshop.

Keywords: Radiological protection / ICRP / general recommendations

Notice

Une traduction en anglais de cet article sera publiée dans un prochain numéro de Radioprotection, sous le titre « Laurier D, Schneider T, on behalf of the speakers and panellists. 2024. Workshop on the future of Radiological Protection. Radioprotection 60(1) ». L'importance du sujet de l'avenir de la radioprotection ont poussé les éditeurs à publier aussi en anglais les résultats de cet atelier qui s'est tenu en France.

1 Pourquoi cet atelier a-t-il été organisé?

Avec la publication de l'article « Maintenir les recommandations de la CIPR adaptées aux besoins » (Clement *et al.*, 2021, 2022), la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) s'est engagée dans un examen et une révision du Système de protection radiologique qui prendra en compte et, si nécessaire, mettra à jour les recommandations générales de 2007 de la Publication 103 de la CIPR (ICRP, 2007). Dans cette perspective, une participation ouverte et transparente et un dialogue avec les organisations, les individus et toutes les parties intéressées ont été lancés.

Bien qu'il soit reconnu que le Système est robuste et qu'il a bien fonctionné, il doit s'adapter aux évolutions de la science et de la société pour rester à la hauteur de son objectif.

*Auteur de correspondance : dominique.laurier@irsn.fr

^a Liste des intervenants et des panélistes: Adam-Guillermin Christelle (ICRP, IRSN), Applegate Kimberly (ICRP, U Kentucky), Bellin Marie-France (SFR), Billarand Yann (ICRP, IRSN), Bochud François (ICRP, IRA CHUV), Bouffler Simon (ICRP, PHE), Clement Christopher (ICRP), Devin Patrick (SFRP, Orano), Elisabeth Leclerc (ANDRA), Gariel Jean-Christophe (IRSN), Garnier-Laplace Jacqueline (ICRP, AEN), Isambert Aurélie (ICRP, IRSN), Laurier Dominique (ICRP, IRSN), Lebaron-Jacobs Laurence (CEA.), Lheureux Yves (ANCCLI), Niel Jean-Christophe (IRSN), Paquet François (ICRP, IRSN), Pina Géraldine (ASN), Rühm Werner (ICRP, BfS), Schneider Thierry (ICRP, CEPN), Thierry-Chef Isabelle (ICRP, ISGlobal), Vaillant Ludovic (ICRP, CEPN).

Actuellement, plusieurs questions sont étudiées par une série de groupes de travail de la CIPR afin d'intégrer les récents développements scientifiques et sociétaux pertinents. Dans ce processus, une attention particulière est accordée à l'identification des améliorations possibles de la protection radiologique des personnes et de l'environnement, ainsi qu'à l'examen des questions relatives à sa mise en œuvre.

À l'occasion d'une réunion de la Commission principale (CP) de la CIPR en France, un atelier d'une journée sur l'avenir de la radioprotection a été organisé le 19 mars 2024 à l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) à Fontenay-aux-Roses. Cet atelier, organisé conjointement par l'IRSN, le Centre d'étude sur l'évaluation de la protection dans le domaine nucléaire (CEPN) et la CIPR, a rassemblé plus de 100 participants, sur site et en ligne. L'objectif était de présenter les développements récents de la CIPR et d'échanger avec les représentants de la communauté française de la radioprotection sur la révision du Système de protection radiologique.

2 Qu'est-ce qui a été présenté lors de cet atelier ?

Un discours de bienvenue a été présenté conjointement par les trois organisateurs, Jean-Christophe Niel en tant que directeur général de l'IRSN, Werner Rühm en tant que président de la CIPR, et Thierry Schneider en tant que directeur du CEPN.

La session 1 a fourni un aperçu détaillé de l'organisation et du statut de la CIPR par Christopher Clement (Secrétaire scientifique et Directeur général de la CIPR), un résumé des missions et des activités de la CIPR par Simon Bouffler (Vice-président de la CIPR), et une perspective sur l'avenir de la protection radiologique par Werner Rühm (Président de la CIPR).

La session 2 a donné un aperçu des travaux en cours de la CIPR sur les effets et les doses. Les effets des rayonnements dans le Système ont été présentés par Dominique Laurier (membre de la CP et président du Comité 1 de la CIPR), avec un accent sur le groupe de travail 123 « Classification des effets nocifs des rayonnements sur la santé humaine à des fins de radioprotection » par Ludovic Vaillant (membre du Comité 1 et président du groupe de travail (TG) 123 de la CIPR), et la dosimétrie externe et interne dans le Système a été présentée par François Bochud (membre de la CP et président du Comité 2 de la CIPR), avec un focus sur le TG95 « Coefficients de dose interne » par François Paquet (vice-président du Comité 2 et président du TG95 de la CIPR).

La session 3 a donné un aperçu des travaux en cours de la CIPR sur l'application du Système. Le Système de protection dans les activités médicales a été présenté par Aurélie Isambert (membre du Comité 3 de la CIPR) et Kimberly Applegate (membre de la CP et présidente du Comité 3 de la CIPR) avec un focus sur le TG126 « Radiological Protection in Human Biomedical Research » par Isabelle Thierry-Chef (membre du Comité 3 et présidente du TG126 de la CIPR). L'application des recommandations de la CIPR a été présentée par Thierry Schneider (membre de la CP et président du Comité 4 de la CIPR) avec un focus sur le TG127 « Situations d'exposition et catégories d'exposition » par Yann Billarand (membre du Comité 4 et président du TG127 de la CIPR). Une présentation

spécifique a été faite sur la protection radiologique de l'environnement, avec un focus sur le TG99 « Reference Animal and Plant (RAP) Monographs » par Christelle Adam-Guillermin (membre du Comité 1 et co-présidente du TG99 de la CIPR) et Jacqueline Garnier-Laplace (secrétaire du Comité 4 et présidente du TG99 de la CIPR).

3 Qu'est-ce qui a été discuté lors de cet atelier ?

Deux tables rondes ont été organisées sur les effets et les doses et sur l'application du Système, avec des interventions de représentants de l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (ANDRA, Elisabeth Leclerc), de l'Association nationale des comités et commissions locales d'information (ANCCLI, Yves Lheureux), de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN, Géraldine Pina), du Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA, Laurence Lebaron-Jacobs), de l'IRSN (Jean-Christophe Gariel), de la Société française de radiologie (SFR, Marie-France Bellin) et de la Société française de radioprotection (SFRP, Patrick Devin).

Les discussions ont été constructives et animées. Les principaux sujets de discussion sont résumés ci-dessous :

- **Maintenir la stabilité du Système** : Plusieurs intervenants ont insisté sur l'importance de maintenir le Système stable et praticable. La stabilité et la simplicité de la mise en œuvre ont été jugées nécessaires pour une bonne application opérationnelle du Système. Pour les utilisateurs, le Système doit être pratique et compréhensible. Le maintien du modèle linéaire sans seuil (LNT – Linear-No-Threshold) comme base essentielle du Système (Laurier *et al.*, 2023 ; Bertho et Bourguignon, 2023) a été présenté comme un exemple de stabilité. Dans cette perspective, il convient d'évaluer l'utilisation potentielle de nouveaux indicateurs de risque, tels que les années de vie corrigées de l'incapacité (DALY) pour le détriment (Vaillant *et al.*, 2023) ou les années de vie corrigées de la qualité (QALY) pour les interventions médicales (MacKillop et Sheard, 2018) ;
- **Clarifier les priorités** : Le processus de mise à jour des recommandations générales a conduit au lancement de plus de 30 groupes de travail de la CIPR. En outre, certaines questions transversales sont examinées en parallèle, comme la contribution à la réalisation des objectifs de développement durable (ODD) des Nations unies (Rühm *et al.*, 2024), et la prise en compte des incertitudes. L'identification de quelques grands objectifs majeurs aiderait à clarifier les travaux en cours et leur impact attendu sur le Système.
- **Coordonner avec les autres acteurs de la protection radiologique** : Certaines divergences ont été constatées entre la CIPR et le comité scientifique des Nations unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants (UNSCEAR) au cours des dernières années (par exemple, sur la formation de la cataracte, les coefficients de dose pour le radon...). Une meilleure coordination des actions et des positions avec d'autres organisations internationales, telles que l'UNSCEAR, l'Organisation mondiale de la santé (OMS), l'Agence pour l'énergie nucléaire (AEN),

l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) et l'Association internationale de radioprotection (IRPA), devrait faciliter la transposition des recommandations dans les réglementations internationales et nationales et pour les pratiques de radioprotection.

- **Mieux expliquer au public la signification de la limite de dose :** Les limites de dose et les niveaux de référence ne sont pas toujours bien compris par le public, ce qui peut créer une certaine confusion. Cela s'applique à différentes situations d'exposition, y compris la spécificité à très long terme du stockage des déchets radioactifs. Dans ce contexte, il peut être utile de mieux expliquer et clarifier le rôle et le domaine d'application des limites de dose et des niveaux de référence, y compris la comparaison avec différents niveaux d'exposition ou la comparaison des risques liés aux rayonnements avec ceux liés à d'autres facteurs de risque.
- **Améliorer la prise en compte des incertitudes :** Des incertitudes subsistent quant aux effets sanitaires liés aux rayonnements dans la gamme des faibles doses. L'élaboration de scénarios concernant les risques sanitaires futurs et les expositions potentielles présente également des incertitudes. Les sources et l'ampleur des incertitudes devraient être mieux prises en compte dans les travaux de la CIPR, sans pour autant rendre le Système plus complexe (Clarke, 1999).
- **Développer la flexibilité :** La flexibilité pourrait permettre de mieux répondre aux différentes situations d'exposition et d'appliquer le Système dans ces différentes situations. L'intérêt d'introduire de la flexibilité devrait être étudié plus avant tout en veillant à garantir un niveau de protection adéquat.
- **Examiner la recherche sur les effets des rayonnements :** L'identification des besoins de recherche pour évaluer l'impact sur la santé des situations d'exposition combinée a été soulignée, ainsi que l'intégration des rayonnements dans une approche plus holistique (Laurier *et al.*, 2021). L'amélioration de la caractérisation des effets au-delà du cancer, tels que les maladies cardiovasculaires, les pathologies neurologiques et les effets transgénérationnels, constitue un défi majeur pour l'avenir. En outre, il est nécessaire de mieux prendre en compte le rôle des facteurs individuels dans l'application du Système, notamment dans le secteur médical (Harrison *et al.*, 2023).
- **Renforcer la justification et l'optimisation en médecine :** Expliquer les bénéfices ainsi que les risques associés aux procédures d'imagerie diagnostique pour la justification et l'optimisation de la protection est important, dans le but d'aller vers une meilleure évaluation de la balance bénéfices-risques (Housni *et al.*, 2023). Cela devrait s'accompagner du développement d'approches de communication avec les patients et leurs familles pour parvenir à une meilleure compréhension de la balance bénéfices-risques dans l'utilisation des rayonnements ionisants en médecine (par exemple, The Bonn Call for Action, IAEA and WHO 2014).
- **S'adapter aux évolutions :** Les évolutions récentes nécessitent de prendre en compte les nouveaux développements technologiques, ainsi que les changements éthiques et sociétaux, au fil du temps. Une attention particulière devrait être accordée à la contribution de l'intelligence artificielle (IA) à l'application du Système.

Dans le domaine thérapeutique, les nouvelles techniques de traitement (par exemple la thérapie de capture des neutrons par le bore (BNCT), FLASH, etc.) soulèvent de nouvelles questions pour assurer la protection radiologique des patients. Ces technologies peuvent être bénéfiques pour les patients, mais il est important de suivre leurs effets sur la santé. Le processus de révision devrait prendre en compte tout changement majeur dans le « paysage nucléaire », tel que le développement rapide et récent de l'énergie nucléaire et le développement de nouveaux réacteurs (c'est-à-dire les petits réacteurs modulaires (SMR) et les réacteurs modulaires avancés (AMR)) dans de nombreux pays (Bourguignon, 2023).

- **Protéger l'environnement :** La Publication 91 de la CIPR (ICRP, 2003) a introduit la protection de l'environnement dans le Système et a été développée dans la Publication 108 (ICRP, 2008). Un participant à l'atelier a évoqué le cas de faibles rejets provenant d'installations en fonctionnement normal et s'est interrogé sur la nécessité d'une réflexion plus approfondie sur la protection de l'environnement, suggérant que dans ce cas, la protection de l'homme est généralement suffisante pour protéger la faune et la flore. Il a été souligné qu'il existe aujourd'hui un consensus international sur la nécessité de démontrer explicitement que l'environnement est correctement protégé contre les effets nocifs potentiels des rayonnements ionisants, comme en témoignent les propositions de valeurs de référence, non seulement de la CIPR, mais aussi de plusieurs organisations (AIEA, UNSCEAR) ou pays (États-Unis, Canada). En outre, il a été mentionné que la prise en compte de la protection de l'environnement est essentielle dans certains cas, comme les situations post-accidentelles existantes ou futures, où des espèces non humaines peuvent vivre dans des zones restreintes pour l'activité humaine (Takada et Schneider, 2023).
- **Développer une approche globale/holistique de la protection :** Il apparaît dans certaines situations que les mesures mises en œuvre pour réduire les risques radiologiques peuvent conduire à l'augmentation d'autres risques (par exemple les troubles musculo-squelettiques, la sécurité conventionnelle au travail...). Une prise en compte holistique des risques, en particulier dans l'approche d'optimisation, pourrait être proposée.
- **Améliorer la communication :** Une demande récurrente a été de mieux expliquer les caractéristiques de base du Système. Il s'agit notamment d'utiliser un langage simple, de clarifier l'évaluation des risques des faibles doses, de comparer les risques liés aux rayonnements avec d'autres facteurs de risque, d'améliorer la communication sur les risques très faibles liés aux rayonnements, tels que ceux induits à proximité d'une centrale nucléaire ou d'un site de stockage de déchets radioactifs dans des conditions d'exploitation normales.
- **Améliorer la transparence :** Une meilleure explication des différentes étapes et des paramètres impliqués dans la construction du Système devrait permettre d'améliorer la transparence des recommandations de la CIPR et améliorer l'assurance qualité dans l'évaluation des doses et des risques.
- **S'engager avec la société civile :** L'importance de la société civile a été clairement démontrée dans certaines

situations d'exposition spécifiques telles que les situations post-accidentelles (Raisio *et al.*, 2023). Le rôle de la société civile devrait être renforcé dans les activités de la CIPR en impliquant davantage les représentants de la société civile dans les groupes de travail et en organisant un dialogue spécifique avec eux au cours du processus de consultation, sur la base de l'exemple des dialogues de Fukushima (Ando *et al.*, 2023). Les comités et commissions locaux d'information (CLI), tels qu'ils existent en France, pourraient contribuer à mieux intégrer la société civile dans les activités de la CIPR. Pour favoriser ce processus, la CIPR devrait faciliter l'accès aux documents et aux rapports (coût réduit, traduction dans différentes langues...).

- **Encourager une bonne culture de la radioprotection** : Pour développer la culture de la radioprotection, des actions de formation pour les jeunes professionnels sont indispensables ainsi que des actions de promotion spécifiques à la radioprotection dans le contexte de pénurie de professionnels (Rühm *et al.*, 2023). De même, il est important d'élaborer des messages destinés aux professionnels de la radioprotection et à la société civile, tels que les personnes vivant à proximité des centrales nucléaires et d'utiliser les leçons tirées de Fukushima pour développer la culture de la radioprotection (Thu Zar *et al.*, 2023). La SFRP a exprimé son soutien à la diffusion d'informations sur le processus d'examen et de révision du Système de radioprotection actuellement porté par la CIPR et à la participation de la communauté française de la radioprotection à ce processus.
- **Renforcer la référence à l'éthique** : La Publication 138 de la CIPR sur les fondements éthiques du Système (ICRP, 2018) est essentielle pour l'application du Système et devrait être renforcée dans les publications à venir. Des considérations spécifiques devraient être consacrées aux défis associés aux questions sur la prise en compte du long terme, telles que celles liées aux sites contaminés ou à la gestion des déchets, ou à l'éthique de la radioprotection pour l'imagerie et la thérapie des patients.

Financements

Ces travaux de recherche n'ont fait l'objet d'aucun financement spécifique.

Conflits d'intérêts

Les auteurs déclarent n'avoir aucun conflit d'intérêt.

Déclaration de disponibilité des données

Aucune donnée n'est associée à cet article.

Contributions des auteurs

Les deux auteurs ont contribué de manière égale au manuscrit.

Liens internet

Site internet de l'ICRP : www.icrp.org

Groupe de travail sur la commission internationale de protection radiologique: <https://www.irsn.fr/groupe-travail-sur-commission-internationale-protection-radiologique-gt-cipr>

Références

- Ando R, Koyama R, Schneider T, Lecomte JF, Isse M, Koyama Y. 2023. Report on the 23rd Fukushima Dialogue « Thinking together about issues of Fukushima Daiichi treated water ». *Radioprotection* 58 (1): 5–10.
- Bertho JM, Bourguignon M. 2023. The linear non threshold (LNT) relationship and the evolution of the radiological protection system. *Radioprotection* 58 (4): 241–242.
- Bourguignon M. 2023. No revival of nuclear power without strong radiological protection! *Radioprotection* 58 (3): 157–159.
- Clarke R. 1999. Control of low-level radiation exposure: time for a change? *J Radiol Prot* 19 (2): 107–115
- Clement C, Rühm W, Harrison J, Applegate K, Cool D, Larsson CM, Cousins C, Lochard J, Bouffler S, Cho K, Kai M, Laurier D, Liu S, Romanov S. 2021. Keeping the ICRP recommendations fit for purpose. *J Radiol Prot* 41: 1390–1409.
- Clement C, Rühm W, Harrison J, Applegate K, Cool D, Larsson CM, Cousins C, Lochard J, Bouffler S, Cho K, Kai M, Laurier D, Liu S, Romanov S. 2022. Maintenir les recommandations de la CIPR adaptées aux besoins. *Radioprotection* 57 (2): 93–106.
- Harrison JD, Haylock RGE, Jansen JTM, Zhang W, Wakeford R. 2023. Effective doses and risks from medical diagnostic X-ray examinations for male and female patients from childhood to old age. *J Radiol Prot* 43 (1): 011518.
- Housni A, ES-Samssar O, Saoud B, El Amrani N, Malou M, Amazian K, Essahlaoui A, Labzour A. 2023. Radiation protection in the operating room: Need for training, qualification and accompaniment for the professionals. *Radioprotection* 58 (1): 37–42.
- IAEA and WHO. 2014. Bonn Call for Action – 10 Actions to Improve Radiation Protection in Medicine in the Next Decade. *Joint Position Statement by the IAEA and WHO. World Health Organization, Geneva, Switzerland.* https://cdn.who.int/media/docs/default-source/documents/radiation/bonn-call-for-action.pdf?sfvrsn=99e624fd_2&download=true
- ICRP. 2003. A framework for assessing the impact of ionising radiation on non-human species. *ICRP Publication 91. Ann. ICRP* 33 (3).
- ICRP. 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *ICRP Publication 103. Ann. ICRP* 37 (2–4).
- ICRP. 2008. Environmental Protection – the Concept and Use of Reference Animals and Plants. *ICRP Publication 108. Ann. ICRP* 38 (4–6).
- ICRP. 2018. Ethical foundations of the system of radiological protection. *ICRP Publication 138. Ann. ICRP* 47 (1).
- Laurier D, Rühm W, Paquet F, Applegate K, Cool D, Clement C, on behalf of the International Commission on Radiological Protection (ICRP). 2021. *Areas of Research to Support the System of Radiological Protection. Radiat Environ Biophys* 60 (4): 519–530.

- Laurier D, Billarand Y, Klokov D, Leuraud K. 2023. Fondements scientifiques de l'utilisation du modèle linéaire sans seuil (LNT) aux faibles doses et débits de dose en radioprotection. *Radioprotection* 58 (4): 243–260.
- MacKillop E, Sheard S. 2018. Quantifying life: Understanding the history of Quality-Adjusted Life-Years (QALYs). *Soc Sci Med* 211: 359–366.
- Raisio H, Puustinen A, Lindell J, Wiikinkoski T, Valtonen V. 2023. Could virtual volunteerism enhance information resilience in a nuclear emergency? The potential role of disaster knowledge workers and virtual emergent groups. *Radioprotection* 58(1): 11–18.
- Rühm W, Cho K, Larsson C-M., Wojcik A, Clement C, Applegate K, Bochud F, Bouffler S, Cool D, Hirth G, Kai M, Laurier D, Liu S, Romanov S, Schneider T. 2023. Vancouver call for action to strengthen expertise in radiological protection Worldwide. *Radiat Environ Biophys* 62 (2): 175–180.
- Rühm W, Applegate K, Bochud F, Laurier D, Schneider T, Bouffler S, Cho K, Clement C, German O, Hirth G, Kai M, Liu S, Mayall A, Romanov S, Wojcik A. 2023. Radiological protection and the UN sustainable development goals. *Radiat. Environ. Biophys.* <https://doi.org/10.1007/s00411-024-01089-w>.
- Takada M, Schneider T. 2023. Radiation doses to non-human species after the Fukushima accident and comparison with ICRP's DCRLs: a systematic qualitative review. *Radioprotection* 58 (3): 181–196.
- Thu Zar W, Matsunaga H, Xiao X, Lochard J, Orita M, Takamura N. 2023. An analysis of the desire to make radiation measurements and to dialogue with experts among the residents of Tomioka town, Fukushima Prefecture: about the implementation of the co-expertise process. *Radioprotection* 58 (2): 79–89.
- Vaillant L, Maitre M, Lafranque E, Schneider T, Wasselin V. 2023. Proposal of a quantitative approach integrating radioactive and chemical risks. *Radioprotection* 58 (2): 147–155.

Cite this article as: Laurier D, Schneider T. 2024. Un atelier sur l'avenir de la radioprotection. *Radioprotection* 59(4): 256–260



Please help to maintain this journal in open access!

This journal is currently published in open access under the Subscribe to Open model (S2O). We are thankful to our subscribers and supporters for making it possible to publish this journal in open access in the current year, free of charge for authors and readers.

Check with your library that it subscribes to the journal, or consider making a personal donation to the S2O programme by contacting subscribers@edpsciences.org.

More information, including a list of supporters and financial transparency reports, is available at <https://edpsciences.org/en/subscribe-to-open-s2o>.