



**RENATER**  
CONNECTEUR DE SAVOIRS

**2021**

**RAPPORT D'ACTIVITÉ**

RÉSEAU NATIONAL DE TÉLÉCOMMUNICATIONS  
POUR LA TECHNOLOGIE,  
L'ENSEIGNEMENT ET LA RECHERCHE



**HENRI PIDAULT**  
PRÉSIDENT DU CONSEIL  
D'ADMINISTRATION DU GIP RENATER  
DSI DE SNCF SA ET DIRECTEUR DE  
E-SNCF SOLUTIONS

*RENATER est une pépite de la France dont l'histoire nous impose aujourd'hui de pérenniser les activités et la mission souveraine, en tant qu'opérateur numérique de l'enseignement, de la recherche.*

*RENATER a joué un rôle majeur pendant la crise sanitaire en assurant l'interconnexion entre les sites enseignement recherche et les utilisateurs finaux.*

*Ce changement de paradigme a engendré un besoin plus important de cybersécurité et l'optimisation des peerings avec les opérateurs commerciaux.*

*Grâce à sa réactivité, le GIP a non seulement permis de soutenir l'organisation des enseignements à distance mais a aussi rendu possible le télétravail pour les enseignants-chercheurs, chercheurs, ingénieurs et techniciens et personnels administratifs qui ont pu continuer à travailler en collaboration et avoir accès à leur environnement de travail.*

*Ce principe de « zero trust network » fait partie de la future stratégie de RENATER.*

*En 2021, RENATER a obtenu des financements dans le cadre du Plan de Relance Numérique dont une partie importante sera consacrée à des investissements dans la consolidation et la performance de l'infrastructure réseau. Nous devons cependant demeurer attentifs à garder un équilibre pour assurer les coûts de fonctionnement de ses évolutions.*

*La fin de l'année 2021 a été également marquée par la confirmation de RENATER comme IR\* (Infrastructure de Recherche\*) dans le cadre de la stratégie nationale des grandes infrastructures de recherche.*

*RENATER a par ailleurs bénéficié d'une subvention complémentaire qui confirme la volonté de l'État de le doter de moyens pour servir ses ambitions.*

*Aujourd'hui, RENATER fait face à plusieurs enjeux stratégiques, autant de challenges que ses équipes et sa gouvernance sont en mesure de relever collectivement.*

*Les besoins en capacité et performances sont toujours plus croissants, pour dimensionner son infrastructure de télécommunication et répondre aux besoins numériques du monde de la recherche et de l'enseignement, RENATER doit se doter des moyens financiers et humains à la hauteur de ce défi.*

*RENATER doit devenir encore plus rapide et plus performant et acquérir de nouveaux savoirs en adéquation avec les évolutions d'usages.*

*Il faudra également revisiter le lien entre le backbone, les réseaux d'accès et les derniers kilomètres pour atteindre les sites .*

*Afin de garantir une qualité de service de*

*bout en bout et fournir depuis le site de l'établissement jusqu'au cœur de réseau des accès aux datacentres, aux centres de calcul, ou à Internet, RENATER a besoin d'accompagner l'interopérabilité entre les réseaux d'accès et le backbone national.*

*RENATER fournit également aux usagers des établissements un bouquet de services numériques en ligne, dont, entre autres, une messagerie et des services de visioconférence. Cette offre doit être renforcée pour garantir la sécurité et la souveraineté des données.*

*À titre personnel, je suis très heureux de participer à la réflexion sur les évolutions de RENATER, en mettant l'accent sur l'innovation.*

*Henri Pidault*

# RENATER AU CŒUR DE LA SOUVERAINETÉ NUMÉRIQUE DE LA COMMUNAUTÉ ENSEIGNEMENT RECHERCHE

## GOVERNANCE

Connecteur de savoirs, RENATER, Réseau National de télécommunications pour la Technologie l'Enseignement et la Recherche, est l'acteur de référence des infrastructures du numérique de la communauté enseignement recherche.

Constitué en 1993, RENATER est un groupement d'intérêt public (GIP) qui assure la maîtrise d'ouvrage du réseau national de communications électroniques pour la technologie, l'enseignement et la recherche.

Les membres de RENATER sont le ministère de l'Éducation Nationale de la Jeunesse et des Sports, le ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, France Universités, ainsi que des organismes de recherche, le CNRS, le CEA, Inria, le CNES, Inrae, l'Inserm, l'Onera, le Cirad, l'IRD et le BRGM.

Le GIP RENATER est organisé autour d'une assemblée générale, d'un conseil d'administration et de deux comités : le COTSS (Comité d'Orientation Technique, Stratégique et Scientifique) et le CUB (Comité des Usagers et des Besoins).

**Le Directeur par intérim :**  
**JEAN NARVAEZ (IGESR)**

**Le Président du Conseil d'Administration**  
**Henri PIDAULT (SNCF)**

**Le Président de l'Assemblée Générale**  
**Pierre CATALA (INRAE)**

Depuis le 3 février 2022

En juin 2021, les ministères en charge de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation et de l'Éducation Nationale, de la Jeunesse et des Sports ont mis en place un plan d'action pour accompagner le GIP RENATER dans une modernisation de son modèle économique et organisationnel en adéquation avec la croissance de ses activités constatée ces dernières années.

## MISSIONS

- Fournir aux acteurs de la Communauté recherche et éducation les moyens de communication numérique haut débit et de gestion des données liées en France (métropolitaine, dans les ROM et dans les COM) sur la base de réseaux, d'infrastructures et de services ;
  - Assurer que l'ensemble de ces moyens sont sécurisés ;
  - Assurer l'interconnexion aux réseaux de recherche et éducation mondiaux ;
- Assurer les travaux des équipes en réseau et de répondre aux besoins avancés et innovants de la Communauté recherche et éducation ;
- Assurer une mission de conseil, d'expertise, de fournir des moyens ou des services de communication dans ses domaines de compétence auprès de l'État et d'autres entités publiques françaises ou étrangères, dans la mesure où cela n'impose pas au Groupement des obligations incompatibles avec sa mission de fourniture de services à la Communauté recherche et éducation.

## COMMUNAUTÉ

Notre communauté se compose de divers types d'établissements :

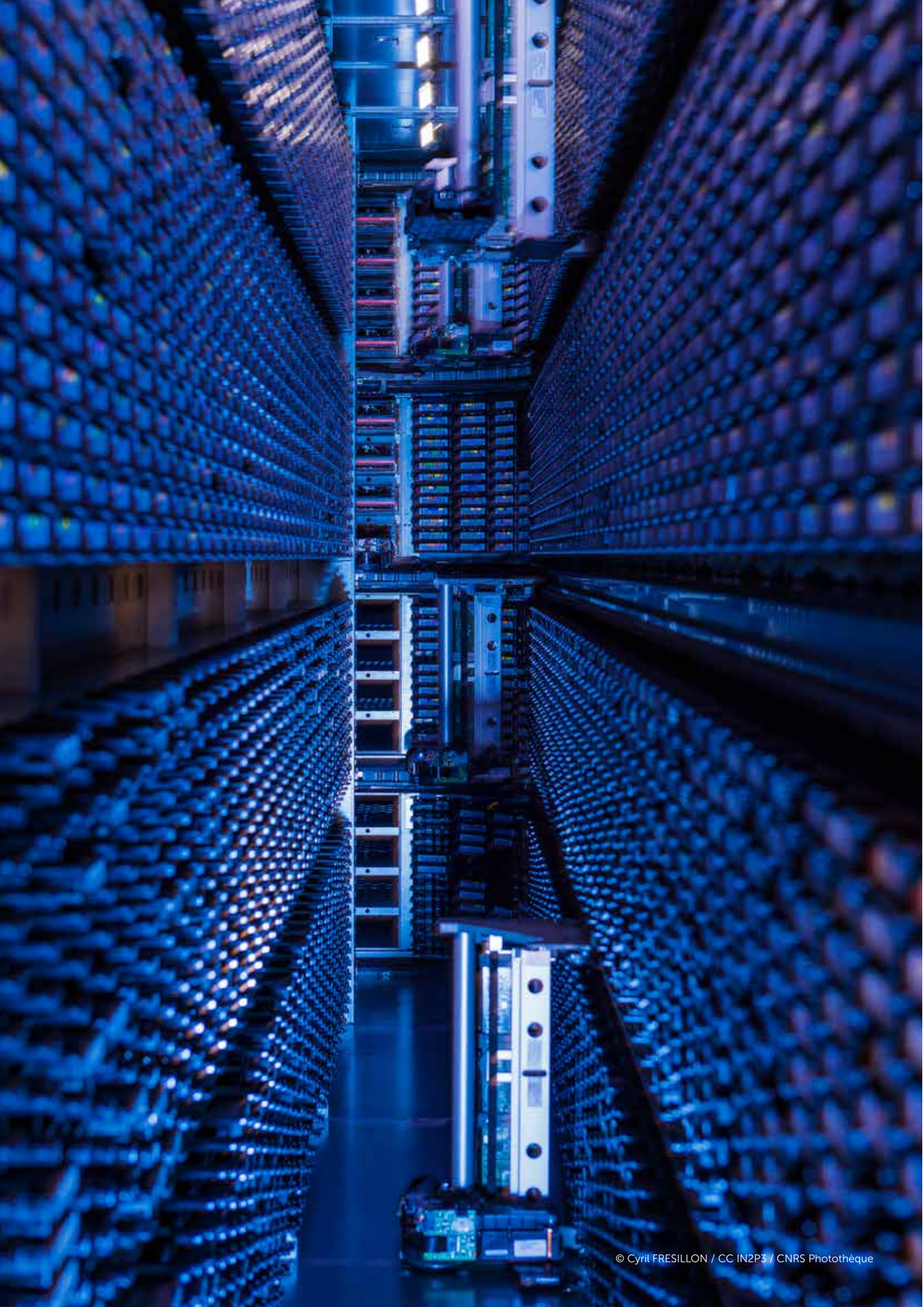
- Des établissements d'enseignement ou de recherche publics relevant du MENJS du MESRI ou d'un des membres de RENATER
- Des établissements d'enseignement ou de recherche publics relevant d'un autre ministère
- Des établissements d'enseignement ou de recherche privés ayant une activité conforme à la charte RENATER
- Des laboratoires industriels pour leurs besoins de recherche
- Des organismes de recherche internationaux (CERN, ITER, ESA,...)

**70%** des établissements connectés sont sous tutelle d'un membre du Groupement

**30%** des établissements relèvent d'un autre ministère ou sont privés ayant une activité conforme à la charte

**717** établissements agréés RENATER

**1357** sites desservis



# CONNECTER

7

« EN 2021, NOUS AVONS ATTEINT NOS OBJECTIFS, D'UNE PART ASSURER LE FONCTIONNEMENT DES INFRASTRUCTURES ET DES SERVICES RÉSEAUX AINSI QUE LEUR SÉCURITÉ, D'AUTRE PART RÉALISER DES DÉPLOIEMENTS DANS LE CADRE DU PROGRAMME RENATER 6 DE PLUSIEURS RÉSEAUX D'ACCÈS ET POUR RÉPONDRE AUX BESOINS CROISSANTS DES INFRASTRUCTURES DE RECHERCHE »

LAURENT GYDÉ  
DIRECTEUR DES RÉSEAUX

LES RÉSEAUX

L'INFRASTRUCTURE NATIONALE

LES RÉSEAUX D'ACCÈS

LES RÉSEAUX SPÉCIFIQUES

# UNE INFRASTRUCTURE PERFORMANTE RÉSILIENTE ET SÉCURISÉE

DEPUIS PRÈS DE 30 ANS, LES RÉSEAUX OPÉRÉS PAR RENATER CONNECTENT LES SITES ÉDUCATION-ENSEIGNEMENT-RECHERCHE EN FRANCE ET AVEC L'INTERNATIONAL, CONTRIBUANT AINSI LARGEMENT À LA CONVERGENCE NUMÉRIQUE DES SAVOIRS ET À LA PROMOTION DE L'EXCELLENCE ACADÉMIQUE ET SCIENTIFIQUE FRANÇAISE PARTOUT DANS LE MONDE.

En interconnectant l'écosystème enseignement-recherche en France et à l'international, RENATER participe à l'aménagement numérique des territoires. Afin d'assurer la desserte de ces sites, RENATER collabore avec les collectivités territoriales qui déploient des réseaux d'accès pour assurer les derniers kilomètres. La qualité de l'offre de services proposée aux usagers dépend donc de l'interaction de trois acteurs, RENATER, les réseaux d'accès locaux et les établissements. C'est pourquoi RENATER œuvre pour que le raccordement des sites soit assuré de façon résiliente et sécurisée.

## L'INFRASTRUCTURE NATIONALE RENATER

En 2021, la direction des Réseaux de RENATER s'est donnée pour objectifs d'une part d'assurer le fonctionnement des infrastructures et des services réseaux et leur sécurité, d'autre part de continuer le déploiement du réseau national dans le cadre du programme RENATER 6, ainsi que d'un certain nombre de réseaux d'accès. En moyenne, RENATER a augmenté de 20% par an la capacité de son réseau ces deux dernières années, atteignant parfois même 40% sur certaines parties, une augmentation nécessaire au regard de la croissance permanente des usages numériques dans les établissements.

## L'INFRASTRUCTURE EN MÉTROPOLE

RENATER opère le backbone ou réseau national à très haute performance pour l'enseignement et la recherche en assurant une continuité territoriale vers l'outre-mer ainsi que la connectivité vers l'Europe et l'international. Son infrastructure est régulièrement renforcée, son architecture maillée et son système de routage doivent faire l'objet d'améliorations constantes, dans l'objectif d'optimiser la résilience et assurer la continuité de service. En 2021, RENATER a renouvelé un nombre important de liaisons du backbone avec une

### ACTIVITÉ RÉSEAUX 2021

**690 pétaoctets**

de données entrantes et sortantes

**+ 28%** d'activité par an



augmentation des capacités et le déploiement d'équipements optiques. Le trafic peut emprunter au moins deux chemins pour atteindre un des 48 nœuds RENATER (NR), afin de maintenir le service en cas d'incident.

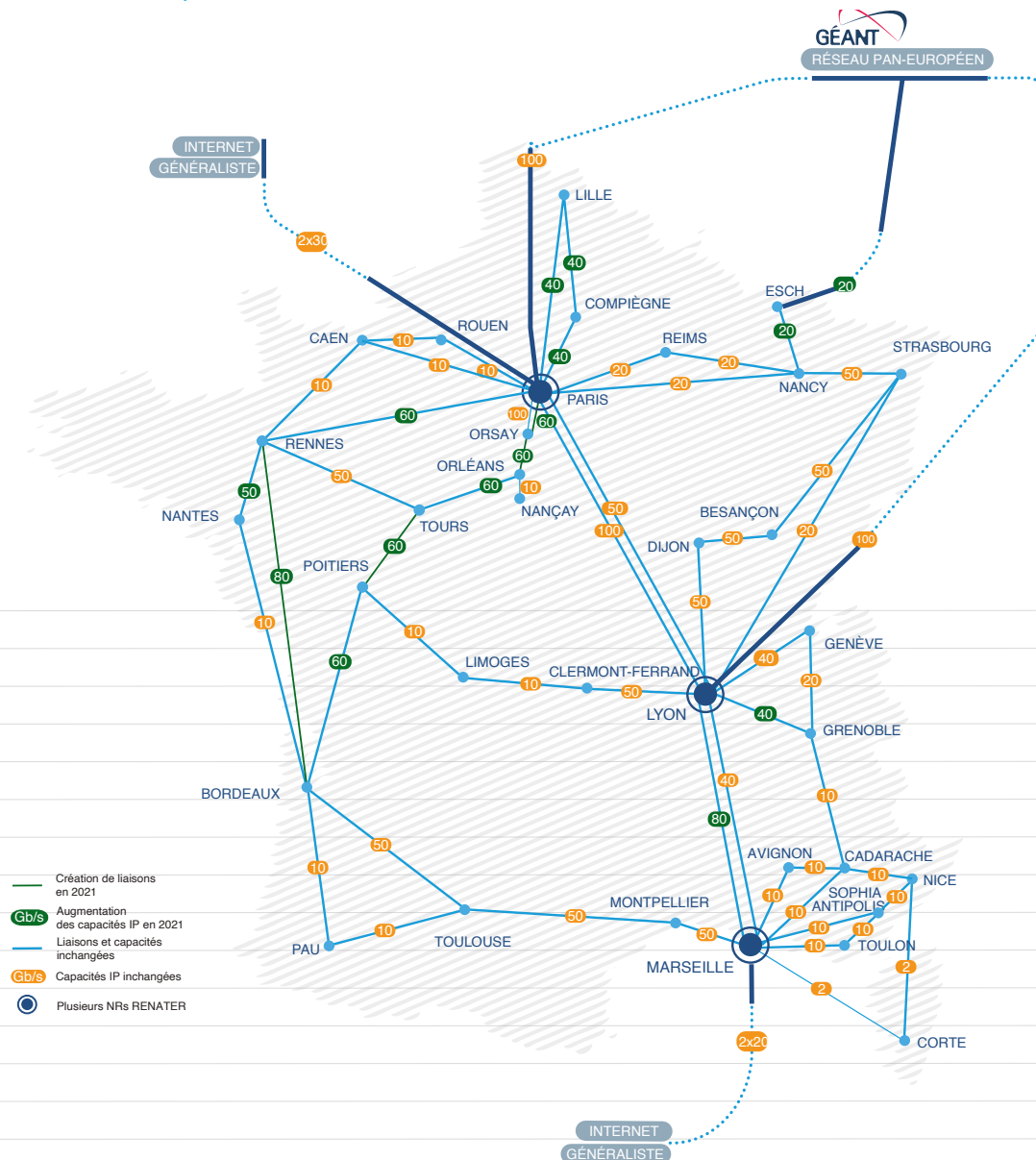
Depuis janvier 2021, l'infrastructure du backbone RENATER a été renforcée avec des augmentations de capacité de  $n \times 10$  Gbit/s à 100 Gbit/s grâce aux technologies optiques les plus récentes et la création de liaisons avec des équipements de nouvelle génération qui ont été déployés dans les Nœuds RENATER.

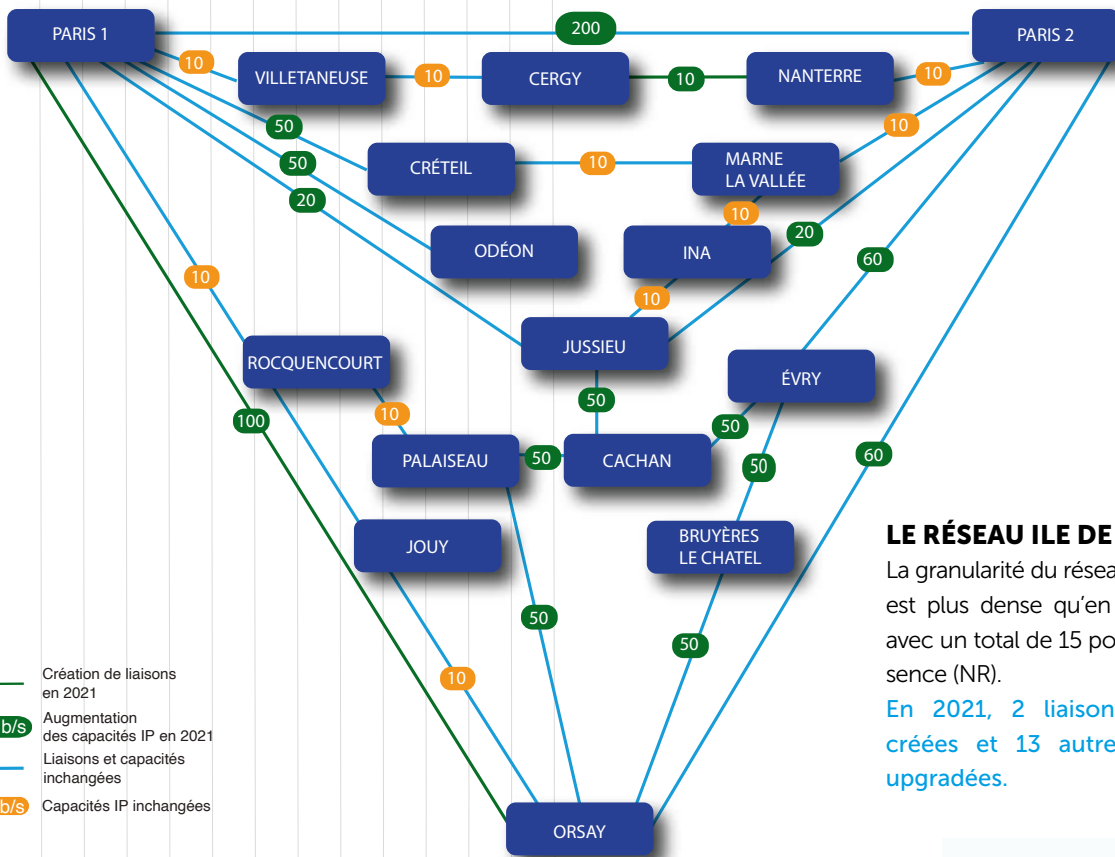
A la fin de l'année 2021, les 2 cœurs de réseau RENATER ont été raccordés à  $2 \times 100$  Gbit/s, 3 liaisons ont été créées et 9 autres ont vu leur capacité s'accroître en métropole.

## L'INFRASTRUCTURE NATIONALE À TRÈS HAUT DÉBIT DE 10 GBIT/S À PRÈS DE 1 TBIT/S

10 000<sub>km</sub>

+de 150 longueurs d'onde de 10 à  $n \times 100$  Gbit/s





- Création de liaisons en 2021
- Gb/s Augmentation des capacités IP en 2021
- Liaisons et capacités inchangées
- Gb/s Capacités IP inchangées

## LE RÉSEAU ILE DE FRANCE

La granularité du réseau RENATER est plus dense qu'en métropole, avec un total de 15 points de présence (NR).

En 2021, 2 liaisons ont été créées et 13 autres ont été upgradées.

## GIX OUTRE-MER

**GUYANIX**, point d'échange en Guyane, hébergé à l'IRD de Cayenne et dans les locaux de Guyane Numérique à Cayenne.

**MARTINIX**, point d'échange en Martinique, hébergé au Centre de Ressources Informatiques de l'Université à Schoelcher, et dans les locaux de MCN au Lamentin.

**REUNIX**, point d'échange à la Réunion. Le REUNIX est hébergé à Saint Denis, dans les locaux de l'Université de la Réunion.

## LA CONNECTIVITÉ EN OUTRE-MER

La continuité territoriale est un enjeu important qui fait partie des missions majeures de RENATER avec le raccordement des établissements enseignement-recherche d'outre-mer : Universités, rectorat, CIRAD, CNES, IRD, et IFREMER.

Ainsi, RENATER ne cesse d'améliorer la qualité de service et les accès à l'Internet à travers des liaisons et des points d'échange avec les opérateurs locaux.

En 2021, RENATER a adhéré au Groupement d'Intérêt Scientifique POLYREN pilotée par l'Université de la Polynésie française qui gère l'accès au haut-débit en provenance de Hawaii via Internet 2 (réseau américain) puis GÉANT pour assurer la connectivité vers l'international.

Un consortium Recherche/Enseignement supérieur/Innovation pour la Polynésie (RESIPOL) opère désormais le réseau d'accès en Polynésie Française afin de faciliter les échanges sur le territoire.

## LES RÉSEAUX D'ACCÈS

RENATER opère trois réseaux d'accès à la demande de collectivités territoriales ou d'autres structures qui en ont la charge au niveau régional. Cette part de l'activité de RENATER concourt largement à la production et à la diffusion scientifique des sites concernés.

### RUBIS, LE RÉSEAU DE COLLECTE DE L'ÎLE-DE-FRANCE SUD

RUBIS dessert l'Essonne, les Hauts-de-Seine et le Val de Marne dont l'exploitation et la gestion ont été confiées à RENATER depuis 2015.

Pour répondre à la demande des établissements enseignement-recherche qui souhaitent voir évoluer leurs raccordements de 1 à 10 G, les capacités des liens du backbone RUBIS ont été également doublées depuis septembre 2021, passant de 10 Gb/s à 2 x10 Gb/s.

**27 établissements.**

**48 sites**

**127 liaisons RUBIS et 13 liaisons louées**

### RAP, LE RÉSEAU ACADÉMIQUE PARISIEN

Deux campus ont été raccordés durant l'année 2021 : PariSanté Campus, projet de campus de santé numérique inauguré en décembre 2021 et le Campus Nation, Sorbonne Nouvelle. Les liaisons entre les POPs d'agrégation RAP passent progressivement de 3 à 4x10Gbit/s.

**83 établissements**

**135 sites**

**292 liaisons en location**

### UPSACLAY, LE RÉSEAU D'ACCÈS DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS-SACLAY

Le réseau UPSaclay est la concrétisation d'un partenariat entre RENATER et l'Université Paris-Saclay, l'un des plus importants établissements de recherche et de formation en France. Elle fédère les organismes de recherche, établissements d'enseignement supérieur, pôles de compétitivité et pôles de recherche et développement sur le secteur sud/sud-ouest de la région Île-de-France. L'ultime phase de construction du réseau d'accès UPSaclay a

été finalisée en septembre 2021, avec 4 POPs d'agrégation : un à Palaiseau, deux à Orsay et Saclay, interconnectés avec deux dorsales à 100 Gbit/s raccordés à trois nœuds RENATER, Orsay, Palaiseau, Jouy-en-Josas (et Rocquencourt provisoirement).

La migration des utilisateurs sur le réseau est en cours, dont une partie est effective pour l'ENSAE, l'ENSTA, le Synchrotron Soleil, le LATMOS/IPSL, le site du CNRS à Gif-sur-Yvette, l'Institut Mines-Télécom, ainsi que les trois laboratoires du Labex P2IO : l'Institut de recherche sur les lois fondamentales de l'Univers (IRFU), l'IJCLab et le Laboratoire Leprince-Ringuet (LLR) de Polytechnique.

**9 sites raccordés + 10 en cours de migration**

**90 liaisons**

**4 POPs d'agrégation**

### ESKEMM NETWORK, EN BRETAGNE

RENATER opère et supervise le réseau d'accès Breton, Eskemm Network avec 12 points d'accès reliés par des liaisons de 10 et 2x10 Gbit/s. La migration de la totalité des sites bretons sur Eskemm Network s'est achevée durant l'année 2021.

### HDMON, À MONTPELLIER

En 2021, RENATER a poursuivi le travail de déploiement du réseau d'accès HDMON (Haut Débit MONTpelliérain), le réseau métropolitain de Montpellier qui raccordera entre eux, à terme, 26 établissements publics et 38 sites principalement de l'enseignement supérieur et de la recherche.

## LES RÉSEAUX SPÉCIFIQUES

RENATER mutualise son infrastructure en production et déploie des liaisons dédiées à soutenir des besoins de liaisons numériques spécifiques ou sensibles, demandant à la fois de grandes capacités et un niveau de sécurité performant, pour des institutions nationales ou pour servir de grands projets de recherche à dimension internationale.

## LE RÉSEAU INTERMINISTÉRIEL DE L'ÉTAT - RIE

Le Réseau Interministériel de l'État raccorde l'ensemble des services de l'État sur le territoire national. Il assure, pour ces services, le transport des flux internes aux entités, leurs échanges sécurisés, ainsi que ceux avec les réseaux tiers, notamment Internet et le réseau Inter-États membres de la Communauté européenne (TESTA).

Le RIE est opéré par la Direction Interministérielle du Numérique (DINUM). Il est constitué de 12 Points d'Interconnexion Backbone (PIB) maillés entre eux via des circuits optiques construits à travers le backbone RENATER, raccordant 17000 sites principalement administratifs. Certains d'entre eux ont vu leur capacité augmenter de 10% au cours de l'année 2021.

## LE RÉSEAU PRIVÉ POUR LES ÉPREUVES CLASSANTES DE MÉDECINE ECNI

Les Épreuves Classantes Nationales Informatisées (ECNI) donnent accès au troisième cycle des études médicales. Depuis 2016, RENATER met à disposition une solution de transport des données pour les épreuves en ligne à la demande du Centre National de Gestion (CNG), organisateur des épreuves, sous tutelle du ministère de la Santé.

En juin 2021, 9000 candidats ont donc composé sur des tablettes en simultané depuis les 34 facultés de médecine métropolitaines pendant trois jours. Un dispositif rendu possible grâce à RENATER qui met à disposition des liaisons fibres sécurisées L3VPN, doublées d'un réseau de données mobiles 4G.

## LE RACCORDEMENT DES GRANDS PROJETS DE RECHERCHE

Le LHCON Large Hadron Collider Open Network Environment raccorde les centres de calcul qui traitent les données du LHC (Large Hadron Collider).

L'objectif du LHCON est de fournir des accès sécurisés aux 170 sites participant aux expériences dans 42 pays (projet Worldwide LHC Computing Grid) du plus puissant accélérateur de particules construit à ce jour, le LHC, situé à la frontière Franco-Suisse.

[La partie française du LHCON opérée par RENATER a été redimensionnée et redondée pour faire face à la croissance du trafic \(facteur entre 5 et 10\) lors du redémarrage du LHC pour le RUN 3 au mois de mai 2021.](#)

Des liaisons sécurisées dédiées (VPN) de nx10 à 100 Gbit/s, connectent les dix sites français, centres de calcul, effectuant le traitement de données des expériences du LHC, certaines de ces liaisons ont été renforcées pour répondre aux besoins croissants.

À travers des liaisons fournies par RENATER, le Centre de Calcul de l'IN2P3 (centre de calcul de niveau 1 du LHC) est raccordé via une liaison dédiée à 100 Gbit/s avec le CERN et avec une connexion à 100 Gbit/s au Réseau optique privé du LHC.

Également dans ce contexte, les laboratoires LAL, IRFU et LLR ont été connectés à 100 Gib/s au point de présence d'Orsay,

Le laboratoire LPNHE a été raccordé à 20Gbit/s au NR de Jussieu.

Ces connexions seront mises à niveau au fur et à mesure pour anticiper les besoins de RUN4.



© Cyril FRESILLON / LORIA / CNRS Photothèque

**RENATER accompagne le Centre de calcul IN2P3 pour recevoir les données du télescope dans les Andes chiliennes.**

Pendant une période de 10 ans, l'Observatoire Vera-C.-Rubin, anciennement nommé Large Synoptic Survey Telescope (LSST) balayera la totalité du ciel plusieurs fois par semaine pour réaliser un relevé de l'univers en 3D.

Doté d'une technologie ultra performante, il s'apprête à révolutionner le monde de l'astronomie dès 2022.

Le télescope va produire 20To de données brutes, 300 nuits par an. Elles seront transférées aux différents centres de calcul via ESnet (Réseau des sciences et de l'énergie américain), GÉANT et RENATER jusqu'au CCIN2P3 qui va traiter la moitié des images numériques et produire 10 fois plus de données qui seront

transférées vers des datacentres dérivés. La mise en service sera progressive jusqu'en novembre 2022.

**Aujourd'hui, RENATER fournit au CCIN2P3 une liaison dédiée à 20 Gbit/s vers les États-Unis pour l'expérience.**

À la fin de l'année 2022, RENATER fournira au projet un lien à 100Gbit/s via l'architecture RUBIN-LSST IN2P3 qui complétera la première liaison à 100 Gbit/s point à point déployée en 2020 entre les deux centres de calcul nationaux (IDRIS et IN2P3).

## RENATER EST LE PARTENAIRE RÉSEAU D'INFRASTRUCTURES DE RECHERCHE NATIONALES

REFIMEVE - temps fréquence - repose sur le réseau fibres optiques de RENATER, une fréquence optique de haute stabilité et exactitude, élaborée par le SYRTE (Laboratoire National de Métrologie Temps/Fréquence) qui permet la comparaison des meilleures horloges terrestres à l'échelle européenne. En 2021, le projet d'extension de REFIMEVE a été lancé, T-REFIMEVE, est financé par le PIA 3, co-porté par le Laboratoire de Physique des Lasers et par le SYRTE.

L'objectif de T-REFIMEVE est de mettre à la disposition de plus de 30 laboratoires de la communauté scientifique (SOLEIL, CNES, IRAM, FEMTO-ST, CERN, ESR...), un ensemble de signaux plus complets de service de temps fréquence.

Les lasers ultra-stables déployés en Europe dans les laboratoires de métrologie ont le rôle critique de générer des échelles de temps optiques et nécessitent pour cela de pouvoir se comparer les uns aux autres.

**En 2021, un nouveau record a été établi pour comparer des lasers ultrastables distants via un réseau de fibres optiques entre des laboratoires situés à Londres – Paris – Strasbourg et Braunschweig (Allemagne).**

Ce nouveau record d'instabilité relative est de  $7 \times 10^{-17}$ , l'équivalent d'une variation de la distance entre la Terre et le Soleil de moins de la largeur d'un cheveu pour des équipements situés à plus de 2220 km l'un de l'autre. La possibilité de transférer une telle précision sur de grandes distances n'est possible que via des fibres optiques, mises à disposition notamment par RENATER.

RENATER est partenaire de SILECS, infrastructure de recherche d'expérimentation informatique coordonnée par l'INRIA, réseau connectant différents équipements de communication, de stockage et de traitement des informations. SILECS (Super infrastructure for Large-Scale Experimental Computer Science) soutient la recherche expérimentale sur divers aspects du calcul distribué, de la myriade d'objets connec-

tés aux grands centres de données de demain. SILECS permet également l'expérimentation de bout en bout à tous les niveaux des couches logicielles et réseau, de la capture d'événements, jusqu'aux données de traitement et de stockage, en passant par la gestion des transmissions radio et le déploiement dynamique de services informatiques.

SILECS portée par l'alliance Allistene, repose sur l'infrastructure de recherche nationale pour l'informatique distribuée de 9 sites raccordés par RENATER

**RENATER fait partie du GIS France Grilles**, infrastructure informatique nationale distribuée et pluridisciplinaire, de grilles de production, pour le traitement et le stockage de données scientifiques de toutes les disciplines. Les infrastructures de France Grilles sont un ensemble de machines sur lesquelles sont déployés des services pour le traitement des données scientifiques réparties sur 10 sites raccordés par RENATER.

RENATER est partenaire réseau de GENCI en charge de la stratégie nationale d'équipement en moyens de calcul à haute performance et de traitement/stockage de données massives au bénéfice de la recherche scientifique française. RENATER raccorde les trois centres nationaux de calcul haute performance, le CINES, l'IDRIS et le TGCC accueillant et gérant les supercalculateurs fournis par GENCI.

### ACCÈS AUX RÉSEAUX MONDIAUX

RENATER accède aux réseaux de l'enseignement et de la recherche européens et internationaux via le réseau paneuropéen GÉANT (Gigabit European Advanced Network Technology), dont il est membre du consortium.

Créé il y a plus de vingt ans par les réseaux éducation recherche nationaux en Europe dont RENATER, GÉANT est aujourd'hui le réseau dédié à l'enseignement et à la recherche le plus vaste et le plus avancé du monde, permettant aux chercheurs européens d'être à la pointe de la collaboration internationale. GÉANT a été déployé en plusieurs phases,

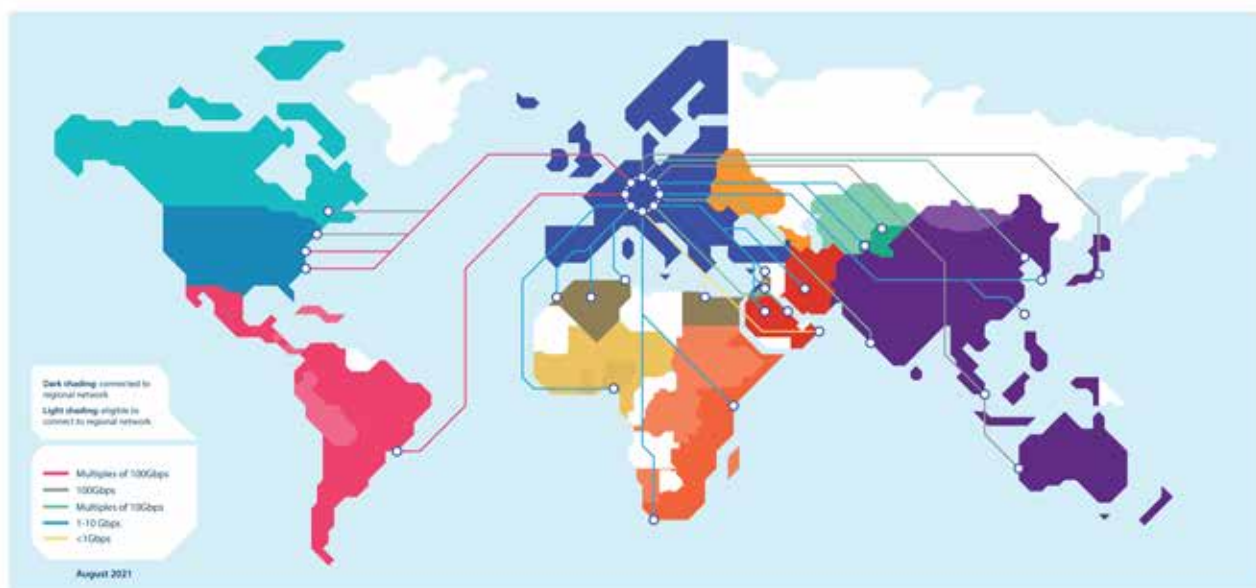
avec trois missions principales, construire et exploiter le réseau paneuropéen de recherche et d'éducation, développer des services fédérés et innovants, de connectivité, de cloud et collaborer avec les NREN autour de projets innovants cofinancés par l'Union Européenne. Grâce à GÉANT, les NREN européens mutualisent leur connectivité vers l'Europe et les autres régions du monde. Ainsi les utilisateurs de RENATER, les Infrastructures de Recherche françaises (GRID 5000, GENCI , ....) et les grands instruments de recherche en bénéficient directement. Par exemple, l'utilisation du réseau LCHONE (Large Hadron Collider Open Network Environment) ou les échanges de l'ESRF (European Synchrotron Radiation Facility) se font via RENATER et GÉANT.

**Le backbone IP RENATER est aujourd'hui interconnecté à 2x100 Gbit/s au réseau paneuropéen GÉANT pour accéder aux réseaux de la recherche et de l'éducation européens et du monde entier.**

Le consortium GÉANT travaille également sur des projets visant à relier tous les réseaux éducation recherche dans le monde.

C'est dans ce cadre que GÉANT et RedCLARA, ainsi que des NREN européens (National Research and Education Network), RENATER pour la France, l'Allemagne, l'Italie, le Portugal et l'Espagne ainsi que des NREN d'Amérique latine, du Brésil, du Chili, de la Colombie, de l'Équateur, ont travaillé sur le projet BELLA (Building the Europe Link with Latin America) pour connecter l'Amérique du Sud avec l'Europe pour les besoins transatlantiques. **En juin 2021, le nouveau câble sous-marin EllaLink a été inauguré. Long de 6 000 km, il relie désormais directement l'Europe et l'Amérique latine et permettra au projet BELLA de déployer, dès le début de l'année 2022, une liaison en IRU de 100 Gbit/s.** Cette liaison participera aux besoins transatlantiques de partage de données entre les communautés enseignement recherche européennes et en d'Amérique latine, dans une optique de science ouverte dans des domaines tels que l'astronomie, la physique des particules ou l'observation de la terre comme par exemple le programme européen d'observation de la Terre de l'Union européenne Copernicus.

**AT THE HEART OF GLOBAL RESEARCH AND EDUCATION NETWORKING**



Canada & USA	Latin America	Europe	North Africa & Eastern Mediterranean	West & Central Africa	Eastern & Southern Africa	Central Asia	Asia-Pacific	Other R&E Networks

## ACCÈS À L'INTERNET GÉNÉRALISTE

Pour accéder à l'Internet généraliste, RENATER échange du trafic avec d'autres opérateurs à travers différents noeuds d'échanges, dont ceux de RENATER IX opérés en propre.

Depuis le début de la pandémie, les flux depuis RENATER vers les fournisseurs d'accès Internet résidentiels ont été optimisés, avec la mise en oeuvre et l'ajustement des interconnexions vers et depuis les opérateurs commerciaux.

**Une partie des caches des CDN (Content Delivery Networks) ont été intégralement mise à jour avec de nouveaux serveurs et de l'ajout de bande passante pour répondre aux augmentations des débits vers ce service. Dans le même cadre, des liaisons directes vers certains éditeurs majeurs de l'Internet ont été consolidées avec de l'ajout de capacité.**

**De nouveaux peerings ont été réalisés via les points d'échanges sur lesquels RENATER est présent et via de nouvelles interconnexions directes afin de continuer à optimiser la stratégie Internet RENATER.**

En complément de ses interconnexions directes avec de nombreux opérateurs de l'Internet, le réseau RENATER est connecté à l'Internet généraliste à travers 4 liaisons à 20 et 30 Gbit/s, 2 liaisons à partir des 2 PoPs de Paris et deux liaisons à partir des deux PoPs de Marseille.

## LES SERVICES RÉSEAUX

RENATER met à disposition des sites de la communauté enseignement recherche son réseau hautement fiable et sécurisé, pour faciliter la collaboration et la convergence de projets scientifiques et académiques au niveau national mais aussi européen et international.

Les établissements ont la possibilité de s'y raccorder au moyen d'une offre de connectivité de quatre packs de capacités de 1 à 10 G. Les équipes de RENATER accompagnent ces sites dans leur choix de raccordement selon la localisation géographique via un réseau d'accès métropolitain ou régional ou en direct sur le noeud RENATER et assurent les démarches administratives d'allocation de préfixe IPv4 IPv6 et de noms de domaine en.fr.

## LES RÉSEAUX PRIVÉS VIRTUELS - VPN

RENATER propose aux sites enseignement-recherche des réseaux privés virtuels (VPN) pour des besoins spécifiques. Ce service répond aux besoins liés aux grands projets de recherche et à des échanges de données critiques nécessitant un haut niveau de sécurité.

Avec le service L2 VPN, les établissements peuvent bénéficier d'une interconnexion privée sur l'infrastructure RENATER. Avec le service L3 VPN, ce sont plusieurs sites qui peuvent bénéficier d'un réseau privé, lequel assure une communication inter-sites dans un mode totalement maillé et hautement disponible nativement sur RENATER. Enfin, des VPN multi-domaines sont également disponibles afin d'étendre les VPN dans le cadre de collaborations européennes.

Il existe également une solution VPN Open Source, **eduVPN**, pour les membres de la communauté éducation-recherche qui permet d'accéder de manière simple et sécurisée à Internet ou au réseau privé de son établissement. Cette solution est portée par GÉANT et c'est à travers sa participation aux projets internationaux que RENATER a déployé une instance nationale.

## LE SERVICE PARTENAIRE RIE

Pour le Service Partenaire RIE, un accès sécurisé pour les échanges entre administrations publiques a été mis en place par RENATER, permettant aux sites enseignement recherche autorisés d'accéder à l'ensemble des services de l'État sur le territoire national et d'avoir accès aux ressources des administrations présentes sur le RIE. L'accès à ce service est soumis à la validation de la DINUM.

## ACCÈS SÉCURISÉ AU WIFI EN MOBILITÉ eduroam™

eduroam est la solution d'accès Wifi nomade et sécurisée, bien connue et plébiscitée par la communauté Éducation-Recherche mondiale dans le cadre de sa mobilité. La connexion est établie de façon simple et transparente pour les utilisateurs, avec le même login et mot de passe.

**En 2021, 311 établissements en France utilisent eduroam.**



# SÉCURISER

17

« DANS LE CADRE DE NOS MISSIONS, NOUS ASSURONS LE MANAGEMENT DE LA SÉCURITÉ DE L'INFORMATION ET DU RISQUE POUR LA SÉCURISATION DES DONNÉES ET DES SERVICES OPÉRÉS PAR RENATER. LES MENACES INFORMATIQUES ET LES MODES DE TRAVAIL PLUS OUVERTS AVEC L'ADOPTION GÉNÉRALISÉE DU TÉLÉTRAVAIL, NÉCESSITENT LA MISE EN PLACE D'UN ENVIRONNEMENT DE COMMUNICATION SÉCURISÉ ET L'AMÉLIORATION CONSTANTE DE NOS CAPACITÉS DE DÉTECTION ET DE RÉACTION, NOTAMMENT PAR UNE PRISE EN COMPTE LE PLUS EN AMONT POSSIBLE DE LA SÉCURITÉ DANS LES PROCESSUS. »

DOMINIQUE LAUNAY  
RESPONSABLE DE LA SÉCURITÉ DES  
SYSTÈMES D'INFORMATION

**CELLULE DÉDIÉE - CERT**

**SÉCURISATION ET INTEROPÉRABILITÉ  
DES ÉCHANGES DE DONNÉES**

**SOCLE DE CONFIANCE ET GESTION  
DES IDENTITÉS NUMÉRIQUES**

# PROTECTION ET SÉCURISATION

**RENATER ASSURE LA SÉCURISATION DU TRANSPORT DES DONNÉES SUR SES RÉSEAUX** GRÂCE À LA SURVEILLANCE ET LA MISE EN PLACE DE DISPOSITIFS PROTÉGÉANT DES ATTAQUES INFORMATIQUES. UNE CELLULE EST ENTIÈREMENT DÉDIÉE À LA DÉTECTION, LA PROTECTION ET LA SÉCURISATION DES RÉSEAUX DES SITES ENSEIGNEMENT-RECHERCHE AINSI QU'À L'ACCOMPAGNEMENT DE LEURS ÉQUIPES INFORMATIQUES.

## UNE CELLULE DÉDIÉE : CERT

La cellule CERT (Computer Emergency Response Team) a été créée dès la naissance de RENATER et ne cesse d'évoluer. Elle assure une mission d'information, de détection, de protection et d'assistance relative aux incidents de sécurité détectés et signalés sur son réseau, appliquant des actions curatives mais également préventives.

La cellule CERT joue également un rôle d'animation de la communauté des personnes en charge de la sécurité des données aux niveaux national et international. Il s'agit de créer et/ou

de maintenir la confiance entre les différentes entités, échanger sur les menaces et éventuellement participer à des projets communs.

## LES INCIDENTS DE SÉCURITÉ

En 2021, 5205 incidents de sécurité ont été détectés sur des adresses IP d'utilisateurs de RENATER. Il s'agit en majorité de compromissions d'une ou plusieurs briques du système d'information d'un établissement qui ont surtout concerné des serveurs web, les services de connexion sécurisée à distance SSH et les serveurs de messagerie. Viennent ensuite la présence de failles de sécurité diverses signalées par des tiers, d'émissions de courriers non désirés (spam), de manquements à la charte d'utilisation de RENATER (violation de droits d'auteur notamment), ou de dénis de services et la présence de programmes malveillants sur des postes clients : rançongiciels, chevaux de Troie, botnets...

## LES ACTIONS DE PRÉVENTION

La cellule CERT a découvert près de 700 vulnérabilités dans divers produits logiciels ou matériels chez ses utilisateurs, auprès desquels elle a fait parvenir des rapports détaillés ainsi que la disponibilité de correctifs de sécurité. Son bulletin hebdomadaire a permis de communiquer sur l'actualité des menaces, les alertes en cours et les incidents observés tout au long de l'année 2021.

## JRSSI 2021

Journées RSSI  
organisées par RENATER

**4 x 1/2** journées en janvier/  
février en visioconférence

**120 et 150** RSSI

**15** intervenants.

De plus, 907 signalements de failles de sécurité émis par des tiers (chercheurs en sécurité ou autres CERTs) ont été relayés auprès des établissements.

## STOPPER LES ATTAQUES

Le CERT pilote les dispositifs de lutte anti attaque par Déni de Service, DDoS, permettant de protéger les sites qui font l'objet d'attaques de ce type. Ces attaques volumétriques sont en effet de plus en plus fréquentes, et les établissements de la communauté RENATER en sont régulièrement les cibles. En forte croissance depuis trois ans, elles sont pour la plupart arrêtées au niveau du backbone RENATER par des équipements dédiés, Le CERT RENATER appliquant une mitigation lorsque cela est nécessaire pour les réduire ou les stopper.

Plus de 2000 DDoS ont ainsi pu être bloqués en 2021.

## SÉCURISATION ET INTEROPERABILITÉ DES ÉCHANGES DE DONNÉES

RENATER assure également la sécurisation de l'accès aux données et aux services pour les établissements enseignement recherche.

### TCS, CERTIFIER DES APPLICATIONS EN LIGNE

Depuis plus d'une quinzaine d'années, le service de certificats TCS (Trusted Certificates Service) mis à disposition par RENATER pour la communauté Education/Recherche, permet d'obtenir des certificats électroniques pour les applications en ligne. Le service TCS est la déclinaison française du contrat signé entre GÉANT Association et un prestataire de certification commercial, au bénéfice de plus d'une trentaine de Réseaux Nationaux d'Enseignement et Recherche en Europe (NREN), dont RENATER.

Ces certificats sont reconnus par défaut par la plupart des logiciels (navigateurs internet, clients de messagerie électronique, smartphones...) et

ne nécessitent aucune configuration préalable. En 2021, RENATER a dénombré 35 000 certificats actifs. Ce service est appelé à évoluer pour s'adapter aux demandes et aux attentes de la communauté européenne Education Recherche.

### GRID FR, AUTHENTIFICATION PAR CERTIFICAT

RENATER délivre par délégation des Autorités de Certification (AC) GRID-FR du CNRS, des certificats numériques X.509v3 aux organismes et unités de recherche françaises, privées ou publiques, faisant partie d'un projet de grille de calcul ou de cloud au sein d'une infrastructure recherche qui participe aux activités du Groupement d'Intérêt Scientifique France Grilles.

Depuis 2021, un processus de migration a débuté pour accompagner les utilisateurs de ce service vers les certificats de grilles fournis dans le cadre du service TCS.

### SCAN'ER, SCANNER LES VULNÉRABILITÉS

Scan'ER est un outil de test de vulnérabilités. Il permet aux responsables de sécurité des systèmes d'information et aux contacts sécurité des établissements de la communauté

Éducation-Recherche de détecter les machines visibles depuis l'extérieur, de découvrir les vulnérabilités éventuelles et de connaître le niveau de sécurité global d'un réseau.

### ANTISPAM, SÉCURISER LES MESSAGERIES INTERNES

Cette plateforme de filtrage opérée par RENATER est compatible avec les diverses architectures déployées et permet à chaque établissement de mettre en place une politique de filtrage personnalisée.

Au cours de l'année, quatre milliards de mails dans 3,5 millions de boîtes aux lettres ont été filtrés par la plateforme dont 450 millions de menaces soit 11,25% du flux total dans 212 établissements.

## SOCLE DE CONFIANCE ET GESTION DES IDENTITÉS NUMÉRIQUES

L'identification et l'authentification permettent à la communauté éducation-recherche de partager des ressources en toute sécurité. Les mécanismes mis en place au niveau national, européen et international par les NREN garantissent l'interopérabilité et un environnement sécurisé.

## LA FÉDÉRATION ÉDUCATION-RECHERCHE, L'ACCÈS AUTHENTIFIÉ ET SÉCURISÉ AUX RESSOURCES DE LA COMMUNAUTÉ

La fédération éducation-recherche est un des piliers du socle de confiance mis en place au sein de la communauté par RENATER qui permet d'accéder aux ressources des établissements mais aussi à des services dont les services applicatifs de RENATER, de façon simple et sécurisée. Les établissements doivent s'inscrire à la fédération et mettre en place des briques techniques dédiées au sein de leurs systèmes d'informations.

En 2021, un nouveau guichet de la fédération a été mis en ligne permettant aux membres de gérer eux-mêmes leurs propres entités SAML (fournisseurs d'identité et de service). Cette année encore, une contribution financière a été apportée au consortium Shibboleth pour contribuer et encourager le développement de ce logiciel Open Source, qui est utilisé par plus de 90% de la communauté.

## EDUGAIN, FÉDÉRER LES FÉDÉRATIONS ÉDUCATION-RECHERCHE AU NIVEAU INTERNATIONAL

Au niveau européen, pour faciliter la mobilité et l'accès aux services et ressources, GÉANT opère un service d'interconnexion des fédérations éducation/recherche au niveau international appelé eduGAIN. Ce service permet d'accéder aux ressources fournies par les membres de l'inter-fédération internationale en s'authentifiant depuis leur organisme de rattachement.

Exemple d'usage d'eduGAIN: InAcademia,

## CHIFFRES CLEFS 2021

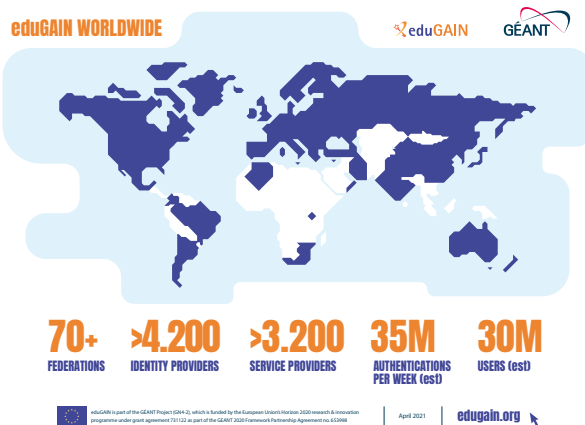
**400** établissements affiliés

**53%** des établissements agréés RENATER

**1200** services accessibles

service opéré par GÉANT certifiant le statut étudiant de manière simple, rapide et sécurisée via l'inter-fédération, aux fournisseurs de services commerciaux qui veulent faire bénéficier aux étudiants de réductions, tout en préservant la confidentialité de leurs données. RENATER participe au projet InAcademia en définissant les enjeux et les périmètres en France, afin d'encadrer et d'anonymiser les données de vérification du statut étudiant conformément à la RGPD.

En 2021, InAcademia a été accédé par plus de 800 fournisseurs d'identité.



## IDENTITAS, UN SERVICE D'HÉBERGEMENT DE FOURNISSEURS D'IDENTITÉS

RENATER propose le service Identitas avec deux offres d'hébergement de fournisseur d'identités (mutualisée et dédiée), afin d'en faciliter l'accès. L'authentification des différents utilisateurs est déléguée à un seul fournisseur d'identités qui interroge un référentiel commun à la charge de chaque établissement.

RENATER participe à la création d'un cadre de cohérence pour la mise en œuvre des annuaires dans l'enseignement supérieur et la recherche SupAnn et à la création d'un référentiel national du statut étudiant SUPDATA.

### SUPANN, L'ANNUAIRE ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR-RECHERCHE

La version SupAnn 2021 est parue. SupAnn conserve les mêmes objectifs à savoir la mise en œuvre des annuaires dans l'enseignement supérieur et la recherche, la mise à disposition d'un schéma prêt à l'emploi pour faciliter le déploiement d'un annuaire, la convergence vers des compétences internes communes, la sensibilisation des établissements sur la nécessité d'un référentiel central.

### SUPDATA, L'API STATUT ÉTUDIANT

En 2021, RENATER a mis au point l'API Statut Étudiant (pour Application Protocol Interface ou interface de programmation d'application). Elle permet aux fournisseurs de service de s'assurer qu'un individu effectuant une demande est bien inscrit dans un établissement d'enseignement supérieur et possède donc bien le statut d'étudiant. Ce protocole est disponible depuis janvier 2022 et simplifie déjà les formalités en ligne auprès des CROUS (attribution d'un logement, prise de rendez-vous avec une assistante sociale, aides à la mobilité, ...). L'objectif du « Statut Étudiant » est de faciliter l'ensemble des démarches en ligne des étudiants, l'API sera donc progressivement intégrée par de nombreux fournisseurs de services locaux et nationaux. Elle valorise les droits des étudiants (exonération, allocation) et leur permettra de souscrire aux tarifs de transport ou aux activités culturelles et sportives qui leur sont réservés.

L'API Statut Étudiant est un projet national piloté conjointement par RENATER et la Direction générale de l'enseignement supérieur et de l'insertion professionnelle du Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation (MESRI). Le référentiel national du Statut Étudiant rend possible une interface unique pour toutes les universités et tous les

services nécessitant de justifier d'un statut étudiant. Alimenté à partir du référentiel INES et des systèmes d'information des universités pour les données liées aux inscriptions, SUPDATA est en conformité avec les règles qui régissent la sécurisation des échanges des données à caractère personnel (CNIL et RGPD).

Dans le cadre du plan du numérique pour l'école, le Ministère de l'Éducation Nationale de la Jeunesse et des Sports a créé un gestionnaire d'accès aux ressources (GAR) qui en a confié la maîtrise d'ouvrage déléguée à RENATER.

### GAR, LE GESTIONNAIRE D'ACCÈS AUX RESSOURCES

Le GAR (Gestionnaire d'Accès aux Ressources) est un dispositif technique et contractuel qui permet d'assurer la protection des données à caractère personnel des élèves et de leurs enseignants pour l'utilisation des ressources pédagogiques, tout en visant une connexion unique (sans réauthentification).

Il joue un rôle d'intermédiation entre des acteurs qui gèrent les données d'identité sur les personnes et ceux qui les utilisent pour fournir des services à valeur ajoutée pour la pédagogie (fournisseurs de ressources numériques pour l'École notamment). Élaboré dès sa conception comme un intermédiaire au service de la gouvernance des données traitées par les services numériques éducatifs, le GAR est un pilier de l'application des principes du RGPD dans l'éducation, au service de « l'école de la confiance ».

La solution GAR permet l'accès à des ressources numériques pour l'Éducation. Les bénéficiaires du GAR sont :

- Bénéficiaires finaux : utilisateurs finaux des ressources - services numériques éducatifs (élèves, enseignants, autres membres de la communauté éducative). Le GAR leur apporte la garantie de protection des données à caractère personnel et une simplification de l'accès aux ressources ;
- Bénéficiaires de la solution GAR : fournisseurs de ressources - services numériques éducatifs et projets territoriaux pour le numé-

rique éducatif. Dans un contexte où la chaîne de valeur des outils pour le numérique éducatif est adressée par de multiples acteurs, le GAR leur apporte une simplification de la connexion ainsi qu'un cadre juridique et contractuel structurant pour leurs clients des collectivités territoriales, établissements ou académies (les fournisseurs de ressources et services doivent signer un contrat d'adhésion pour bénéficier des services du GAR).

### CHIFFRES CLEFS 2021

**8 300** établissements

**7 000** écoles accèdent  
aux ressources GAR

**+12,5** millions d'accès

**+30%**

RENATER participe à la mise en place d'un cadre de cohérence pour dématérialiser et faciliter la mobilité étudiante. La feuille de route du programme Erasmus+ (2021-2027) prévoit en effet de numériser toutes les étapes clés du processus de mobilité étudiante, les objectifs étant de simplifier la vie des étudiants en mobilité autant que d'alléger la charge de gestion administrative des coordinateurs mobilité des établissements. Le projet de Blockchain européenne est également une initiative en faveur de la mobilité étudiante.

RENATER accompagne donc le projet Erasmus Without Paper qui vise à numériser les différentes étapes d'authentification des étudiants grâce à la Fédération Éducation Recherche et la fédération de fédération eduGAIN opérée par GÉANT. Pour les établissements participants au programme Erasmus, les enjeux sont de générer et déployer European Student Identifier (ESI) dans leur système d'information. Cet identifiant permet alors les échanges de données entre les établissements Erasmus

Without Paper. Via la fédération d'identités eduGAIN et grâce à l'eIDAS (Electronic Identification Authentication and trust Services), les étudiants pourront s'identifier, s'enregistrer auprès des établissements d'enseignement supérieur et accéder aux services en ligne de mobilité étudiante Erasmus+.

### EDSSI, SÉCURISER LES ÉCHANGES ENTRE ÉTABLISSEMENTS ERASMUS+

La plateforme European Digital Student Service Infrastructure (EDSSI) permet aux établissements européens d'enseignement supérieur et aux prestataires de services étudiants de vérifier les informations et d'échanger de manière fiable les données des étudiants Erasmus+ tout en leur offrant un accès sécurisé aux outils et services électroniques de mobilité étudiante. Au cours des deux dernières années, le projet EDSSI a permis la maintenance et le développement des outils et de l'infrastructure interopérable de numérisation Erasmus+.

### BLOCKCHAIN EUROPÉENNE – EBSI

L'infrastructure européenne de services de chaîne de blocs, European Blockchain Service Infrastructure, consiste en un réseau de nœuds interconnectés. Cette initiative vise à introduire confiance, sécurité et interopérabilité dans les services publics et administratifs numériques en Europe tout en respectant la réglementation européenne.

Chaque membre du Partenariat européen de la chaîne de blocs (EBP) — les 27 pays de l'UE, la Norvège, le Liechtenstein et la Commission européenne — gèrera au moins un nœud.

Impliqué depuis 2019, RENATER a déployé et maintient 2 nœuds Blockchain pour les phases expérimentales du projet européen gouvernemental fr.EBSI pour le cas d'usage "Diplôme" en partenariat avec l'Université de Lille avec la mise en place d'un système d'émission et de gestion d'attestations numériques vérifiables de réussite aux diplômes.

# FACILITER

« NOTRE MISSION EST DE PROPOSER  
UNE OFFRE ÉVOLUTIVE DE SERVICES  
NUMÉRIQUES SOUVERAINS.

EN 2021, NOUS AVONS TIRÉ LES  
LEÇONS DE LA CRISE SANITAIRE QUI A  
FAIT EXPLOSER L'USAGE DES SERVICES  
NUMÉRIQUES. NOUS LES AVONS DONC  
FAIT ÉVOLUER AFIN D'EN GARANTIR LEUR  
SUPPORT, ASSURER LEUR MAINTIEN  
EN CONDITION OPÉRATIONNELLE,  
INDUSTRIALISER LEUR DÉPLOIEMENT ET  
AUGMENTER LA CAPACITÉ DU STOCKAGE  
EN AMORÇANT UNE ÉVOLUTION VERS LE  
STOCKAGE OBJET. »

MICHÈLE DETOURNAY

DIRECTRICE DES SERVICES APPLICATIFS.

## SERVICES APPLICATIFS COLLABORATIFS

VISIOCONFÉRENCE  
PLANIFICATION D'ÉVÈNEMENTS  
TRANSFERT DE FICHIERS  
LISTES DE DIFFUSION  
FORGE LOGICIELLE  
MESSAGERIE COLLABORATIVE

# DES SERVICES COLLABORATIFS AU SERVICE DE LA TRANSFORMATION NUMÉRIQUE

**Parmi les missions de RENATER, outre la mutualisation et l'optimisation des moyens d'infrastructure, figure celle de produire des services à usages collaboratifs performants, innovants et sécurisés pour répondre aux besoins de la communauté enseignement-recherche.**

## LES SERVICES APPLICATIFS ET COLLABORATIFS

Depuis le début de la pandémie en 2020, l'usage des services applicatifs de RENATER a connu une augmentation très significative et tous les indicateurs anticipent sur une progression continue de l'utilisation de ces services numériques souverains. C'est dans ce contexte que RENATER a répondu en 2021 à l'appel à projet du Plan de Relance en collaboration avec la direction interministérielle du numérique (DINUM) avec deux projets qui concernent d'une part l'évolution du portail assistance des services, d'autre part celle du renforcement de l'interopérabilité du service de webconférence Rendez-Vous.

Tous les services applicatifs de RENATER sont basés sur des logiciels libres et les données sont stockées sur des infrastructures souveraines maîtrisées de bout en bout tel que le préconise le Ministère de la Transformation et de la Fonction publiques et la CNIL. Ils sont accessibles de façon sécurisée via la fédération Éducation Recherche.

RENATER met à disposition des supports d'information pour chacun de ses services, afin d'accompagner les établissements dans leur communication vers les utilisateurs finaux.

## LES SERVICES DE VISIOCONFÉRENCES

Depuis deux ans, on enregistre une évolution importante et un changement d'usage entre les deux solutions de visioconférence proposées par RENATER : RENAvision et Rendez-Vous. Ce choix s'explique par le développement du télétravail, le nomadisme et la facilité d'accès apportée par la solution de webconférence. Pour accompagner ces évolutions d'usages, RENATER travaille à la mise en place d'une solution d'interconnexion entre le webRTC et les équipements de visioconférence dans les établissements, mais aussi avec le réseau téléphonique public.

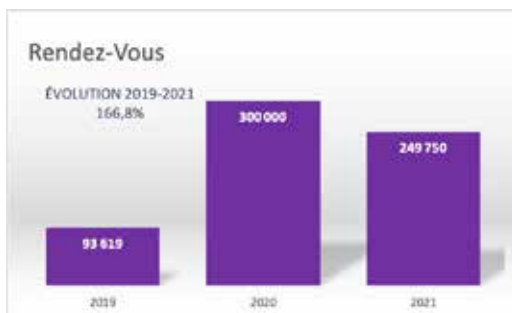
Cette solution est en partie financée dans le cadre du Plan de Relance. À terme, elle permettra de répondre à tous les besoins de la communauté ESR et d'ajouter des fonctionnalités au service de visioconférence de RENATER.

**Une étude a été engagée en 2021 pour déterminer les contours et les perspectives de l'offre Rendez-Vous. Plusieurs pistes ont été évoquées telles que l'extension de l'offre vers les agents de l'État avec un modèle économique permettant l'autofinancement et la mutualisation des actifs.**



### SOLUTION DE WEBCONFÉRENCE RENDEZ-VOUS

Ce service de webconference est utilisable depuis un navigateur web via la technologie WebRTC, basé sur la solution libre Jitsi Meet. Aujourd'hui, il remporte un vif succès grâce à sa simplicité d'usage : l'organisateur s'authentifie via la fédération éducation recherche tout en pouvant transmettre l'URL aux participants. En 2021, Rendez-Vous a connu de nombreuses évolutions avec une augmentation du nombre d'instances de manière transparente pour les utilisateurs, permettant d'adapter le service à sa charge d'utilisation avec de nouvelles fonctionnalités et interfaces : l'ajout d'un arrière-plan virtuel, la gestion avancée des participants, ou la création de sondage instantané. De plus, les utilisateurs peuvent désormais créer un lien Rendez-vous directement via la plateforme collaborative de PARTAGE.



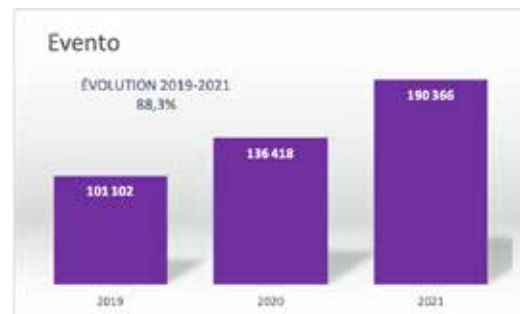
### RÉSERVER DES VISIOCONFÉRENCES RENAVISIO

Ce service permet de faire des visioconférences via une solution fiable de réservation de ponts de visioconférence. En 2021, on enregistre un peu plus de 58 000 réservations.

### PLANIFIER DES ÉVÉNEMENTS EVENTO

Evento est un service de planification d'événements et de sondages développés sur la base de l'application Moment, projet libre initié par RENATER hébergé sur SourceSup.

En 2021, une enquête de satisfaction du service Evento a été réalisée afin de recueillir les retours utilisateurs sur son ergonomie et ses fonctionnalités : 91% des usagers de ce service se sont déclarés satisfaits d'Evento. RENATER a fait évoluer son offre avec une nouvelle interface et de nouvelles fonctionnalités.



### TRANSFÉRER DES FICHIERS VOLUMINEUX FILESENDER

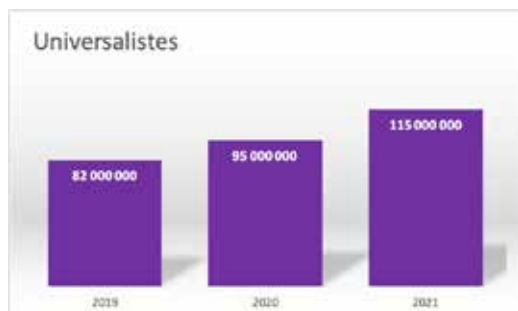
Ce service permet d'échanger des fichiers volumineux jusqu'à 100 Go, en gardant le contrôle de ses données qui sont stockées sur une plateforme souveraine RENATER durant 30 jours. L'usage de ce service a enregistré une forte hausse durant la pandémie, il correspond à une demande croissante liée à sa solution souveraine, sécurisée et Open Source.



### CONSTITUER SES LISTES DE DIFFUSION UNIVERSALISTE

Cette plateforme permet de constituer et héberger des listes de diffusion par courriel

inter-établissements. Les listes peuvent être constituées manuellement, à partir de sources de données variées (base de données SQL, LDAP ...). Le service peut être piloté par courriel ou par le biais d'une interface web.



## FORGE, TRAVAILLER EN MODE COLLABORATIF - SOURCESUP

SourceSup est la « forge » de la communauté Enseignement Supérieur et Recherche : elle héberge les projets informatiques et permet aux équipes d'accéder aux outils collaboratifs nécessaires aux activités de développement des projets numériques. Le service est basé sur l'outil FusionForge qui est une forge libre sous licence GNU GPL qui permet aussi la collaboration avec des personnes extérieures. **En 2021, toutes les briques ont été mises à niveau, la GED Nuxéo (Gestion Électronique de**

**Documents) a également évoluée et l'interface utilisateur a changée.**

**Près de 5 000 projets logiciels sont hébergés.**

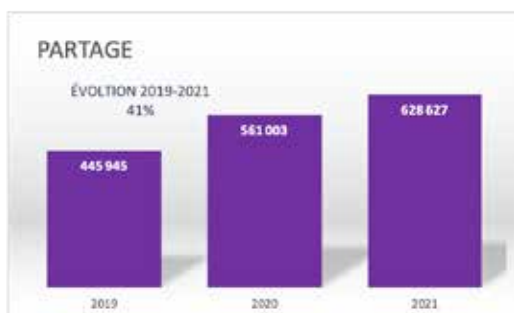
## MESSAGERIE COLLABORATIVE PARTAGE

Ce service opéré par RENATER pour la communauté éducation recherche est basé sur le logiciel Zimbra.

Durant la pandémie, l'usage de la plateforme de messagerie a continué à évoluer.

En 2021, une zimlet a été développée et intégrée pour générer directement depuis la plateforme PARTAGE un lien vers une salle aléatoire de webconférence, que les invités peuvent rejoindre par un simple clic sur l'URL.

**En 2021, 68 établissements ont souscrit à l'offre PARTAGE. Depuis 2019 on enregistre une augmentation de 41% du nombre de comptes.**



# INNOVER

27

«L'INNOVATION FAIT PARTIE DU CŒUR DE MÉTIER DES ÉQUIPES DE RENATER AU SERVICE DE LA CONNECTIVITÉ ET DE SOLUTIONS NUMÉRIQUES INDÉPENDANTES, MUTUALISÉES ET INTEROPÉRABLES.

EN 2021, LES ÉQUIPES ONT CONTINUÉ DE SE MOBILISER POUR ACCOMPAGNER LES GRANDS PROJETS SCIENTIFIQUES ET RENATER S'EST SAISI DE L'OPPORTUNITÉ DU PLAN DE RELANCE GOUVERNEMENTAL POUR RENFORCER SON OFFRE DE SERVICES»

SABINE JAUME-RAJAONIA

DIRECTRICE INTERNATIONAL ET  
STRATÉGIE

# L'INNOVATION POUR RÉPONDRE À L'ÉVOLUTION NUMÉRIQUE

**POUR RÉPONDRE AUX BESOINS AVANCÉS ET INNOVANTS DE LA COMMUNAUTÉ RECHERCHE ET ÉDUCATION, RENATER RÉPOND À DES APPELS À PROJETS ET PARTICIPE À DES PROJETS EUROPÉENS.**

## PLAN DE RELANCE NUMÉRIQUE

Dans le cadre du Plan de Relance numérique national, RENATER a proposé en 2021 quatre projets. Deux dossiers ont été déposés auprès de la Direction Interministérielle du Numérique (DINUM), l'un pour l'interopérabilité du service de webconférence Rendez-Vous avec la solution RSIP qui a été accepté en juin 2021 et l'autre pour l'évolution du réseau.

Un troisième implique le portail de support assistance qui a été soumis à la Direction Interministérielle de la Transformation Publique (DITP) avec le concours du Ministère de l'Éducation Nationale, de la Jeunesse et des Sports (MENJS).

Enfin, le quatrième projet, proposé à l'Agence nationale de la sécurité des systèmes d'information (ANSSI), s'applique au volet cyber sécurité.

## RSIP, CONSTRUIRE UN OUTIL DE VISIOCONFÉRENCE POLYVALENT ET MULTI-ACCÈS

Ce projet est financé en partie par le Plan de Relance Numérique. En 2021, l'équipe visioconférence de RENATER a travaillé sur une passerelle SIP pour le service Rendez-vous (Jitsi-Meet) ainsi que ses évolutions possibles pour en faire une passerelle multi-média généraliste à même de fournir toutes les fonctionnalités attendues d'un service de visioconférence polyvalent. Grâce à leur simplicité d'utilisation, les webconférences accessibles directement depuis un navigateur, sont progressivement devenues l'outil de visioconférence prédominant.

Les briques logicielles Open Source sur lesquelles il repose, permettent une évolution pour étendre l'usage des webconférences à toute la communauté Enseignement-Recherche et aux agents de l'État.

À terme, il s'agit pour RENATER de mutualiser son infrastructure et son expertise en proposant des outils de visioconférences scalables sécurisés de bout en bout et la mise en place d'une brique téléphonie SIP Audio.

**POUR RÉPONDRE AUX BESOINS AVANCÉS ET INNOVANTS DE LA COMMUNAUTÉ RECHERCHE ET ÉDUCATION, RENATER RÉPOND À DES APPELS À PROJETS ET PARTICIPE À DES PROJETS EUROPÉENS.**

Les activités internationales de RENATER au sein de GÉANT permettent une constante amélioration, optimisation et pérennisation de la connectivité internationale et des services proposés à la communauté enseignement et recherche française.

Les projets GN4-3 (2019-2022) pilotés par GÉANT font l'objet de co-financements par la Commission Européenne.

RENATER participe à certains groupes de travail sur l'évolution de la technologie des réseaux, Optical Time & Frequency Network, Quantum Key Distribution, White-Box for research and education, Router for Academia, Research and Education.

**LES SERVICES DE TEMPS ET DE FRÉQUENCE : ACCOMPAGNER L'ÉMERGENCE DE RÉSEAUX MÉTROLOGIQUES EN EUROPE.**

Les services de Temps et de Fréquence (T&F) métrologiques sont essentiels pour de nombreux secteurs à la fois civils et industriels (les télécommunications, la géolocalisation pour les véhicules autonomes, l'énergie, pour des projets scientifiques avancés, etc). Ces nouveaux services d'intérêt majeur ont d'abord été financés au niveau national, avec les projets REFIMEVE+ (France) ou LIFT (Italie), puis des collaborations étroites entre les réseaux nationaux de recherche et d'éducation européens, industriels et scientifiques des laboratoires de métrologie (via le projet CLONETS notam-

ment) travaillent à l'émergence d'une réseau (T&F) métrologique paneuropéen s'appuyant en partie sur les infrastructures nationales.

Afin de faciliter la mise en production de ces services, les membres de l'équipe GN4-3 OTFN (RENATER, CESNET, GÉANT, PSNC, DFN et SWITCH) travaillent à catalyser l'émergence de réseaux métrologiques en Europe (via la production de White Paper, infoshares, mise à disposition d'expertise...) pour permettre une compréhension générale rapide de la manière dont les services T&F peuvent être mis en œuvre en toute sécurité dans des réseaux de télécommunication publics qui le souhaitent.

**QUANTUM KEY DISTRIBUTION**

La «première révolution quantique» était davantage axée sur la compréhension et la prévision des processus physiques à l'échelle nanométrique. À la fin du 20e siècle, elle avait déjà débouché sur des applications concrètes (laser, diode électroluminescente [LED], disque dur, horloge atomique, ...). Aujourd'hui, dans le domaine de la communication quantique, la première application prévue est la cryptographie quantique (distribution de clés quantiques - QKD). RENATER dans le cadre du projet GN4-3 pilote le groupe de travail sur l'évolution des technologies et des services de réseau (WP6) qui étudie actuellement la technologie émergente QKD et son applicabilité potentielle à la communauté des NREN européens.

Il est important de diffuser cette nouvelle technologie auprès des ingénieurs des NREN afin de faciliter leur implication. Les utilisateurs (universités, laboratoires scientifiques, ...) étudient déjà ces sujets et les NREN apporteront leur soutien à leurs travaux.

## RARE - Router for Academia, Research and Education- UN PROJET INNOVANT POUR L'ÉDUCATION EN EUROPE

RENATER participe au projet européen, RARE (Router for Academia, Research and Education), un projet innovant au sein des réseaux éducation recherche européens.

L'équipe RARE est composée de 8 participants (experts, ingénieurs réseau, développeurs,...) provenant des NREN suivant : JISC, KIFU, PSNC, RENATER, SWITCH et REDIRIS/UMU.

Cofinancé par l'Union européenne il a reçu en 2021 les félicitations du jury de la Commission européenne. Le projet se poursuit jusqu'à la fin 2022.

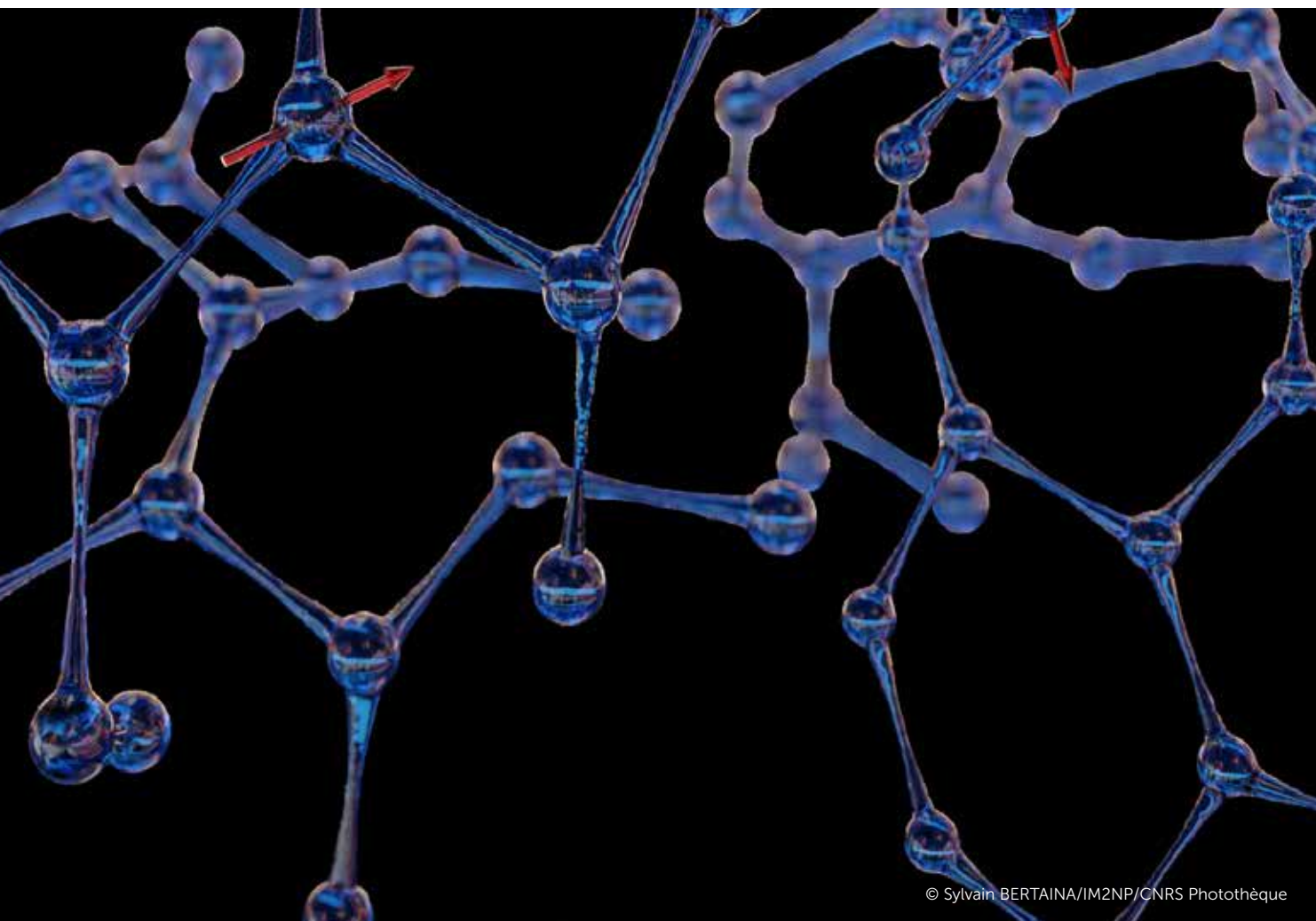
Le projet consiste à créer un routeur fournissant une solution de connectivité polyvalente en termes de capacité de 1 Gbit/s à 100

Gbit/s et facilement intégrable par les réseaux de transit intermédiaires pour connecter les écoles, les établissements de recherche et d'enseignement, les centres de données des NREN et du réseau paneuropéen GÉANT.

Le routeur est basé sur une solution Open Source complète, mise en œuvre grâce à un plan de données à débit de ligne (P4) avec un plan de contrôle open source (FreeRouter) supportant un ensemble de fonctionnalités et de protocoles.

RARE a été déployé dans différents scénarios de production.

À l'avenir, cette solution pourrait être adoptée par les très grands projets de recherche comme les petites institutions, elle permettra, par exemple, aux réseaux de collectes de s'approprier la solution et de la décliner pour de l'interconnexion jusqu'aux écoles.



© Sylvain BERTAINA/IM2NP/CNRS Photothèque

# ACCOMPAGNER

**SCIENCE OUVERTE  
NREN AFRICAINS  
EXPERTISE**

31

«NOUS ACCOMPAGNONS LA  
COMMUNAUTÉ ENSEIGNEMENT  
RECHERCHE DANS SA  
TRANSFORMATION NUMÉRIQUE À  
TRAVERS NOS SERVICES MAIS AUSSI  
EN TRANSMETTANT NOTRE EXPERTISE.  
AU DELÀ, NOUS COLLABORONS AVEC  
L'ENSEMBLE DES RÉSEAUX D'ACCÈS  
QUI CONNECTENT LES SITES POUR  
UN RACCORDEMENT OPTIMAL AU  
RÉSEAU RENATER. NOS ÉQUIPES  
ÉCHANGENT RÉGULIÈREMENT AVEC  
NOS HOMOLOGUES EN EUROPE ET À  
L'INTERNATIONAL POUR RÉPONDRE  
AUX BESOINS DES PROJETS»

**JEAN-FRANÇOIS GUEZOU**  
DIRECTEUR DES RELATIONS UTILISATEURS

# ACCOMPAGNEMENT CONSEIL ET EXPERTISE

**RENATER ACCOMPAGNE DE GRANDES INITIATIVES ET LA TRANSFORMATION NUMÉRIQUE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE** À TRAVERS SON INFRASTRUCTURE, SES SERVICES ET SON EXPERTISE .

## **RENATER ACCOMPAGNE LA SCIENCE OUVERTE**

EOSC - European Open Science Cloud est une initiative de la Commission Européenne qui vise à relier les infrastructures de données scientifiques européennes existantes pour répondre aux besoins des 1,7 million de chercheurs européens et des 70 millions de professionnels des sciences, des technologies, des sciences humaines et sociales. Elle fédère les e-infrastructures dont RENATER pour la France et membre de EOSC Association, les réseaux de l'enseignement et de la recherche en Europe et les infrastructures de stockage et de gestion de données scientifiques existantes, actuellement scindées par disciplines et dispersées entre les États membres de l'UE (European Grid Infrastructure (EGI), EUDAT, Openair, RDA et Research Data alliance).

EOSC vise à offrir un environnement virtuel avec des services ouverts et transparents pour le stockage, la gestion, l'analyse et la réutilisation des données de recherche, dans un contexte plus large de la science ouverte, visant aussi à rendre les données scientifiques FAIR (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable) et ouvertes.

Dans le cadre d'EOSC, GÉANT propose une gamme de services de cloud : OCRE, Open clouds for Research Environments, regroupant 27 plateformes commerciales. OCRE permet de financer et d'utiliser des solutions numé-

riques à la demande tout en bénéficiant des avantages d'une offre mutualisée. RENATER intervient en tant qu'intermédiaire en mettant les accords-cadres à disposition des établissements français. En 2021 RENATER a géré 19 demandes d'accès à l'offre OCRE.

## **RENATER ACCOMPAGNE LES NREN AFRICAINS**

RENATER est membre associé de West and Central Africa Research and Education Networking (WACREN) qui fédère les Réseaux nationaux en Afrique de l'Ouest et du Centre et RENATER collabore également avec Ubuntu-Net Alliance pour les réseaux d'Afrique de l'Est et du Sud.

L'Agence Française de Développement (AFD) et RENATER ont par ailleurs signé un accord de partenariat pour travailler ensemble à la structuration et au développement des Réseaux nationaux d'enseignement et de recherche en Afrique australe et orientale, mis en place par UbuntuNet Alliance. Ce partenariat vise à produire un état des lieux de la situation des réseaux pour la recherche et l'enseignement en Afrique australe et orientale. Il fait suite à un partenariat précédent sur la zone Afrique de l'Ouest et du centre avec WACREN. Ces réseaux interconnectent les universités et centres de recherches des deux régions et permettent des opportunités d'échange, de partage et de mutualisation des ressources pour la communauté



de la recherche scientifique. RENATER poursuit également son implication dans le projet AFRICACONNECT3 et maintient ses accords de coopération avec WACREN et ses NREN, mais également le réseau malgache iRenala.

### RENATER TRANSMET SON EXPERTISE

#### La mise en ligne de supports pour accompagner les utilisateurs des services RENATER.

Les équipes de RENATER mettent tout en oeuvre pour faciliter le travail de relais de l'information des services souverains de RENATER auprès des utilisateurs finaux qui privilégient souvent l'utilisation des outils commerciaux non adaptés aux besoins de sécurité et de protection des données nécessaires à leurs activités.

Un catalogue des services est remis à jour régulièrement et des supports et tutos permettent d'expliquer les avantages et les évolutions des solutions proposées par RENATER.

En participant et en organisant des événements, RENATER transmet son expertise et réunit les membres de la communauté numérique de l'enseignement et de la recherche.

### LA CONFÉRENCE DES RÉSEAUX DE L'ÉDUCATION ET DE LA RECHERCHE EUROPÉENS - TNC21

La conférence TNC représente chaque année l'événement phare de GÉANT. Il s'agit de la plus grande conférence européenne de réseautage Recherche et Éducation avec de plus de 800 participants de plus de 70 pays.

RENATER a présidé le comité de programme et a participé à l'organisation de cette 36<sup>e</sup> édition qui a eu lieu entièrement en ligne.

En juin 2021, RENATER a présenté ses travaux sur RARE – Router for Academia and Research & Education, le réseau temps fréquence RE-FIMEVE et sa plateforme de messagerie collaborative PARTAGE.

### LES JOURNÉES RÉSEAUX DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE - JRES

Organisées tous les deux ans, les JRES proposent depuis plus de vingt-cinq ans des journées de conférences associées à une exposition regroupant les principaux fournisseurs informatiques du monde académique. Les JRES bénéficient du patronage du Ministère de l'Éducation Nationale de la Jeunesse et des Sports et du Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

La quatorzième édition des JRES, prévue initialement en décembre 2021, a été reportée en 2022\*.

En 2022, les équipes de RENATER seront présentes sur un stand et interviendront dans six sessions sur la sécurité du réseau, la fédération d'identité, le service TCS, la visioconférence, les nouveaux routeurs et l'empreinte carbone de la transmission de données sur le backbone RENATER.

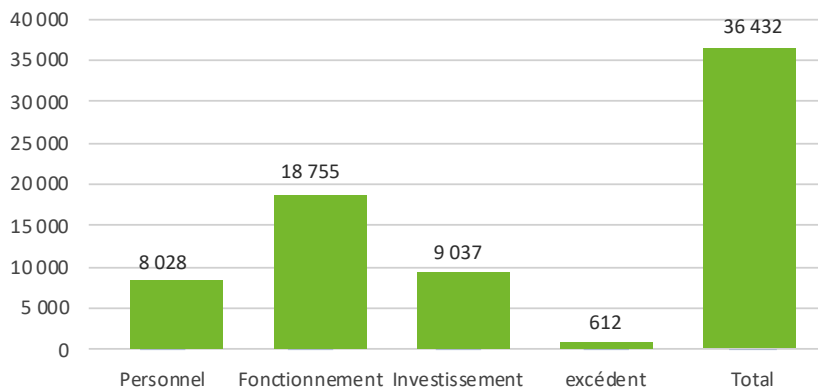
\*du 17 au 20 mai 2022, au palais des congrès de Marseille avec la collaboration des Universités d'Aix-Marseille, de Toulon et d'Avignon ainsi que les écoles Centrale Marseille et Sciences Po Aix.



« SUITE AUX DÉCISIONS DU CONSEIL D'ADMINISTRATION DU MOIS DE MARS 2021, LES TRAVAUX DE LA DIRECTION FINANCIÈRE ONT CONSISTÉ JUSQU'AU MOIS DE SEPTEMBRE 2021, À FIABILISER EN PRIORITÉ LES COMPTES ET À GARANTIR LA SOUTENABILITÉ BUDGÉTAIRE DE 2021, EN PROCÉDANT À LA RECONSTITUTION DE LA COMPTABILITÉ BUDGÉTAIRE/GÉNÉRALE DE 2016 À 2021 ET À LA FIABILISATION DES DONNÉES BUDGÉTAIRES EN DÉPENSES ET EN RECETTES.

DU MOIS DE SEPTEMBRE AU MOIS DE NOVEMBRE 2021, LES DIRECTIONS ONT TRAVAILLÉ SUR L'ÉLABORATION BUDGÉTAIRE DE 2022, EN TENANT COMPTE À LA FOIS DES MOYENS DISPONIBLES, DES PRIORITÉS DES TUTELLES ET DES ORIENTATIONS DANS UN PLAN STRATÉGIQUE EN COURS DE DÉVELOPPEMENT. »

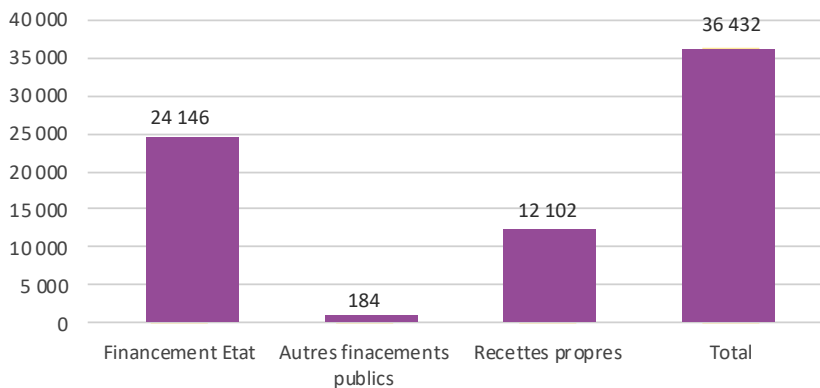
FABIEN BIDOT  
DIRECTEUR FINANCIER

EXÉCUTION 2021 **CRÉDITS DE PAIEMENT EN K€****DÉPENSES**

Les principales dépenses sont liées au fonctionnement du réseau et aux services associés. Elles représentent 81% du budget 2021, pour 19% concernant les fonctions support.

Les dépenses globales de RENATER ont augmenté depuis quelques années, en lien avec une augmentation du plafond d'emploi et l'aboutissement de plusieurs projets, initialement retardés.

L'excédent affiché à fin 2021 concourt pour partie à l'apport au fonds de roulement.

EXÉCUTION 2019 **SOURCES DE FINANCEMENT EN K€****RECETTES**

Les subventions de l'État, dont celles pour charge de service public, représentent 66% des ressources de RENATER, 1% de financements publics d'origines diverses et pour 33% de recettes propres.

EN 2021, NOS EFFORTS ONT PORTÉ SUR L'AMÉLIORATION DES CONDITIONS DE TRAVAIL DE NOS COLLABORATEURS À TRAVERS DIVERS ACTIONS ET PROJETS.

DANS LE CONTEXTE DE LA CRISE SANITAIRE, NOUS AVONS FAIT ÉVOLUER LA CHARTE DE TÉLÉTRAVAIL EN PORTANT UNE ATTENTION PARTICULIÈRE À LA SANTÉ ET À LA SÉCURITÉ DE NOS COLLABORATEURS AINSI QU'AU MAINTIEN DES LIENS PROFESSIONNELS.

NOUS AVONS INITIÉ LA REFONTE DU SOCLE SOCIAL AU REGARD DES ÉVOLUTIONS DU DROIT DU TRAVAIL.

EN SEPTEMBRE 2021, NOUS AVONS OUVERT UN NOUVEL ESPACE DE TRAVAIL À RENNES AFIN DE REGROUPER LES COLLABORATEURS, INSTALLÉS JUSQU'À PRÉSENT SUR DIFFÉRENTS SITES.

DANS UN SECTEUR D'ACTIVITÉ EN PLEINE CROISSANCE ET À LA POINTE DE L'INNOVATION, NOUS SOMMES TOUJOURS À LA RECHERCHE DE NOUVEAUX TALENTS ET OFFRONS À NOS COLLABORATEURS L'OPPORTUNITÉ DE DÉVELOPPER LEURS COMPÉTENCES PROFESSIONNELLES.

VÉRONIQUE FILIPPI  
DIRECTRICE DES RESSOURCES HUMAINES  
ET MOYENS GÉNÉRAUX

## CHIFFRES CLEFS

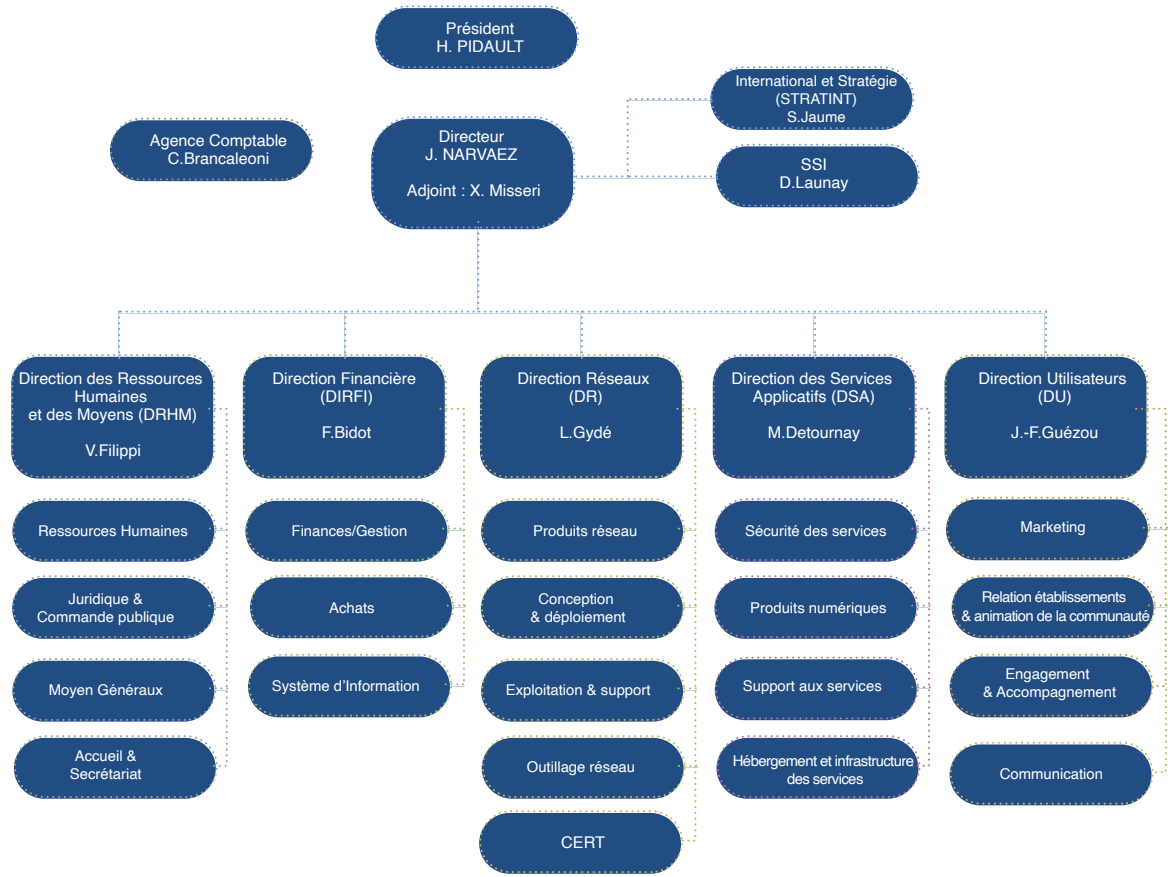
**NOMBRE DE COLLABORATEURS : 99**

**69** hommes **30** femmes

75 CDI + 11 DÉTACHEMENTS + 9 MISES À DISPOSITION  
+ 4 CONTRATS PRO ET APPRENTISSAGE

**NOMBRE D'EMBAUCHE EN 2021**

**4** CDI et **5** mobilités en interne







Rapport d'activité 2022

Document publié par RENATER

Les informations contenues dans ce rapport ont été arrêtées au 31 mars 2022.

Ce document est le fruit d'un travail collectif.

Que tous les contributeurs soient chaleureusement remerciés.

Directeur de la publication : Jean Narvaez

Coordination : Virginie Blanquart,

*Responsable de la communication de RENATER*

Rédaction : Virginie Blanquart

Sophie Dotaro, *AmphiBeCom*

Direction artistique, conception graphique :

Jean-François Treillou, *Commevisuels*

Crédits photos :

© Cyril Fresillon / CC IN2P3 / CNRS Photothèque

© Cyril Fresillon / LORIA / CNRS Photothèque

© Sylvain Bertaina/IM2NP/CNRS Photothèque

Impression : Imprimerie Chauveau

Achevé d'imprimé en mai 2022

ISSN 1777-5507 - Dépôt légal à parution

Tous droits de reproduction réservés

GIP RENATER

23-25, rue Daviel

75013 Paris

[www.renater.fr](http://www.renater.fr)

