


Action Spécifique Gravimétrie 
(ASpéGRé)
Parc d'Instruments National
(PIN PGrav)
Service National d'Observation
(SNO Gravimétrie)

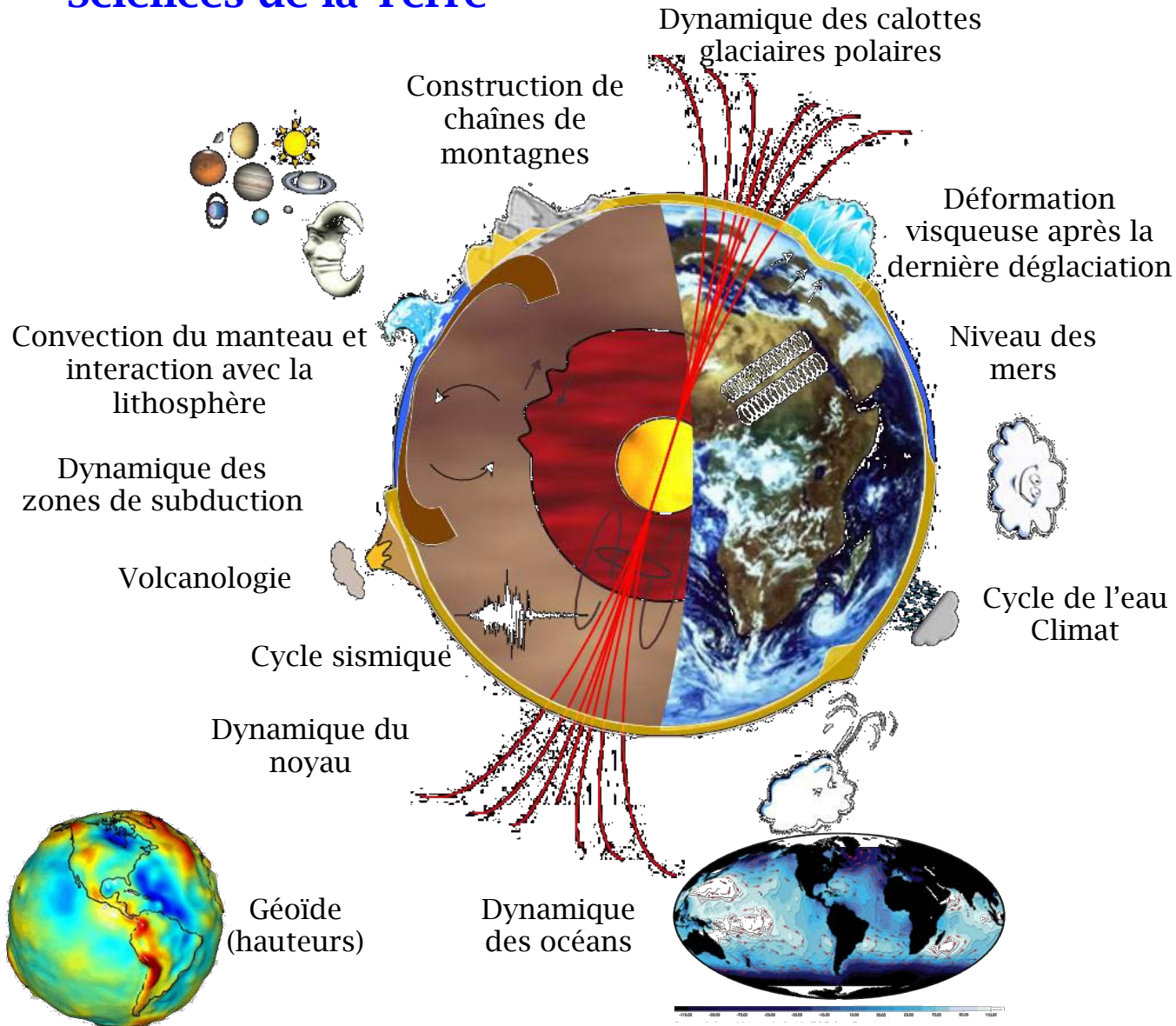
Sébastien Merlet

LNE-SYRTE, Observatoire de Paris, Université PSL, CNRS, Sorbonne Université, Paris, France

AG FIRST-TF 4-5/10/2022 Besançon

Gravimétrie

Sciences de la Terre



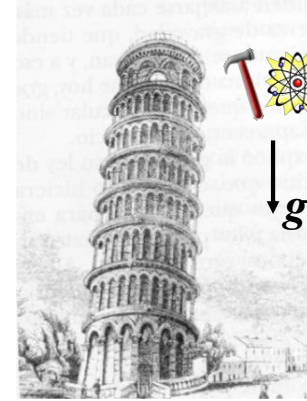
Prospection



Navigation



Tests de physique fondamentale



Métrie



IR Résif, Gravimétrie



<https://www.resif.fr>

IR qui déploie en France métropolitaine une instrumentation moderne (parcs de sismomètres, stations GNSS et gravimètres) qui mesure la déformation de la surface terrestre. Les données recueillies permettent de comprendre la dynamique de la Terre interne, ses aléas naturels et anthropiques, et ses interactions avec l'atmosphère et l'océan.

IR INSU Terre Solide

Carte interactive des réseaux



Chiffres clés

Consortium Résif
— 18 institutions
— 191 participants

Instrumentation
— 865 stations permanentes
— 308 stations mobiles
déployées sur 5517 sites

Requêtes sur les données
— 11,35 millions par an

(Chiffres février 2021)

Plaquette



↓ Plaquette Résif (pdf)

Accès thématiques

Sismologie

Données
Produits
Réseau instrumental
Système d'information

GNSS

Données
Produits
Réseau instrumental
Système d'information

Gravimétrie

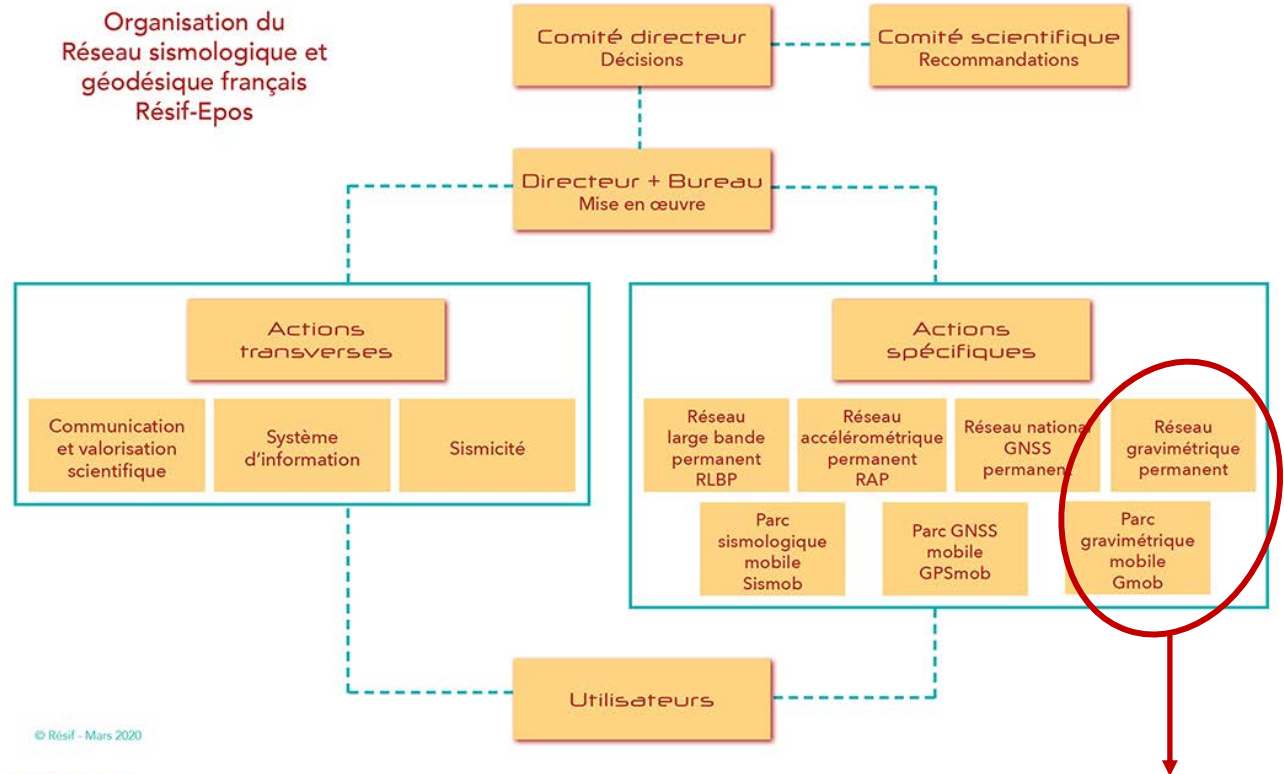
Données
Produits
Réseau instrumental
Système d'information

Membres du consortium Résif

- Centre national de recherche scientifique (CNRS-INSU), coordinateur
- Bureau des recherches géologiques et minières – BRGM
- Centre national d'études spatiales – CNES
- Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives – CEA
- Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer – IFREMER
- Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux – IFSTTAR, devenue Université Gustave Eiffel
- Institut national de l'information géographique et forestière – IGN
- Institut de physique du globe de Paris – IPGP
- Institut de recherche pour le développement – IRD
- Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire – IRSN
- Observatoire de la Côte d'Azur
- Université Clermont Auvergne
- Université Côte d'Azur
- Université Grenoble Alpes
- Université de Montpellier
- Université de Strasbourg
- Université de Nantes
- Université Paul Sabatier, Toulouse

OSU impliqués dans les actions spécifiques Résif

- Ecce Terra
- Ecole et observatoire des sciences de la Terre – Eost
- Institut de physique du globe de Paris – IPGP
- Institut universitaire européen de la mer – IUEM
- Observatoire Aquitain des Sciences de l'Univers (Oasu)
- Observatoire de la Côte d'Azur – Oca
- Observatoire de Paris
- Observatoire de physique du globe de Clermont-Ferrand – OPGC
- Observatoire de recherche méditerranéen de l'environnement – Oreme
- Observatoire des Sciences de l'Univers de Grenoble – Osug
- Observatoire des Sciences de l'Univers de Nantes Atlantique – Osuna
- Observatoire des Sciences de l'Univers de Rennes – Osur
- Observatoire Midi-Pyrénées – OMP
- Theta



Observatoires des sciences de l'Univers impliqués dans Résif

Comprendre le fonctionnement interne de la Planète est un objectif fondamental de la recherche en Sciences de la Terre. Cette recherche nécessite de documenter sur le long terme la formation, l'évolution, la variabilité et l'activité des milieux terrestres, afin de faire progresser les connaissances dans ces domaines. Pour cela, le CNRS a mis en place des Services nationaux d'observation (SNO) regroupés thématiquement en Actions nationales d'observation (ANO). Les SNO sont mis en œuvre par des Observatoires des sciences de l'Univers (OSU) et les laboratoires qui leur sont rattachés ainsi que d'autres établissements de recherche français.

Modifié :
ASpéGRé

IR, Gravimétrie



<https://www.resif.fr>

IR qui déploie en France métropolitaine une instrumentation moderne (parcs de sismomètres, stations GNSS et gravimètres) qui mesure la déformation de la surface terrestre. Les données recueillies permettent de comprendre la dynamique de la Terre interne, ses aléas naturels et anthropiques, et ses interactions avec l'atmosphère et l'océan.



<https://www.ozcar-ri.org>

IR dédiée à l'observation et à l'étude de la zone critique. Sites instrumentés en France et à l'étranger qui s'appuient sur des observations long terme de l'eau des rivières et profonde, des glaces, des sols, des zones humides et de leur biodiversité. Plateforme communautaire qui s'intéresse à l'état et au devenir de la ressource en eau et en sol selon une vision scientifique intégrée et long terme rassemblant les disciplines.



ASpéGRé

De nombreux acteurs

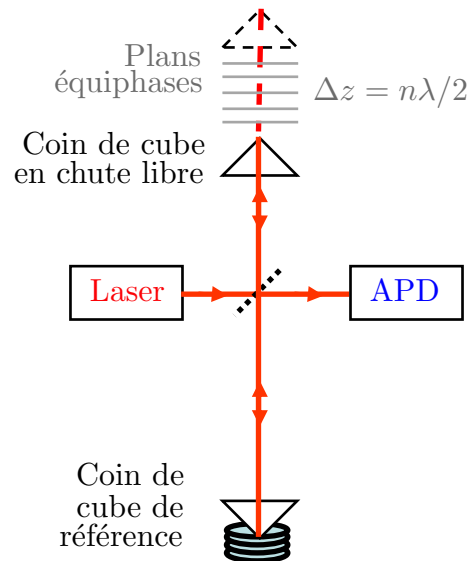
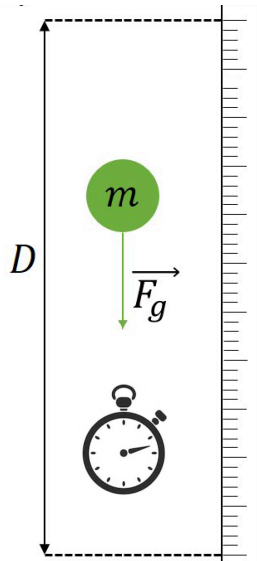
EOST, GEO-OCEAN, IPGP, LNE-SYRTE, OCA, OMP, OREME LSBB

BRGM, CEREGE, CNES, ESGT, GR, IFREMER, IGE, IGN, ISTERre,
IUEM, LIENSs, LPG, METIS, OPGC, SHOM, UGA, UPF, ...

ONERA, iXblue (muquans)

Des Instruments, absolus

Des instruments



Mécanique et optique
Usure (maintenances)
Temps morts

Absolus (2 FG5, 3 A10)



0.1 Hz, $U \sim 30-50 \text{ nm.s}^{-2}$
 $\sigma_g = 10 \text{ nm.s}^{-2}$ en 400 s
Mobile, déplaçable
Environnement protégé, 2-3 d

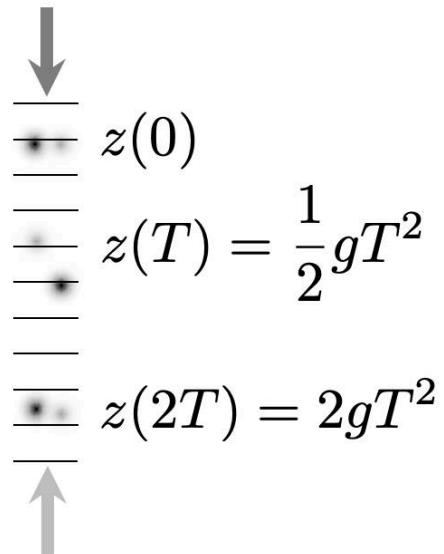
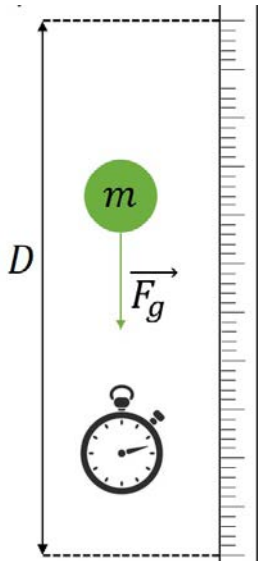


0.1 Hz, $U \sim 50-100 \text{ nm.s}^{-2}$
Très mobile
Environnement extérieur, 30-60 min

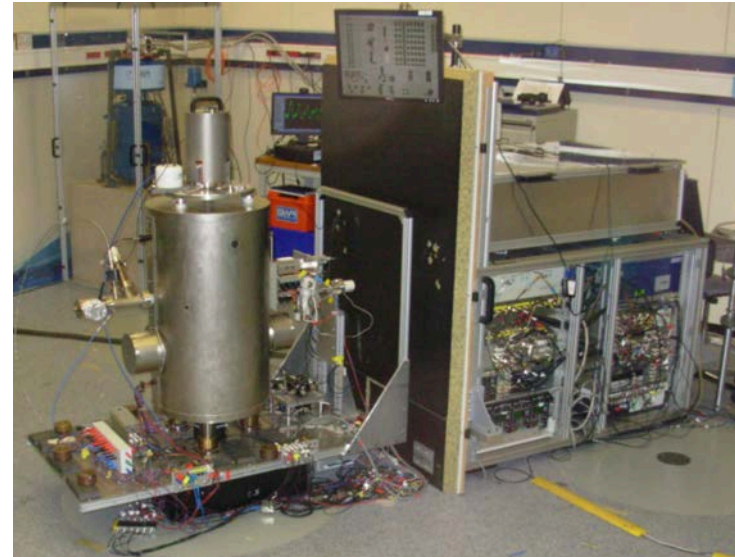
Des Instruments, absolus

Des instruments

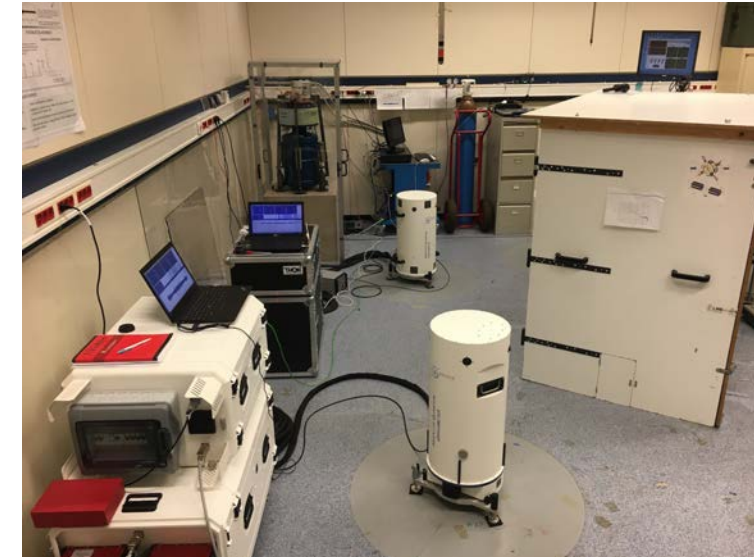
Absolus (2 FG5, 3 A10, 1 CAG, 2 AQG, développements ONERA)



Atomique et optique
Usure
Mesures continues



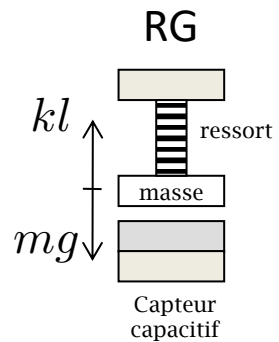
3 Hz, $U < 20 \text{ nm.s}^{-2}$
 $\sigma_g = 10 \text{ nm.s}^{-2}$ en $< 40 \text{ s}$ (0.5 nm.s^{-2})
Déplaçable
Environnement labo, 1-2 d



1 Hz, $U \sim ? \text{ nm.s}^{-2}$
 $\sigma_g = 10 \text{ nm.s}^{-2}$ en 4000 s (4 nm.s^{-2})
Mobile (très)
Environnement labo et extérieur, 30 min

Des Instruments, relatifs, très mobiles

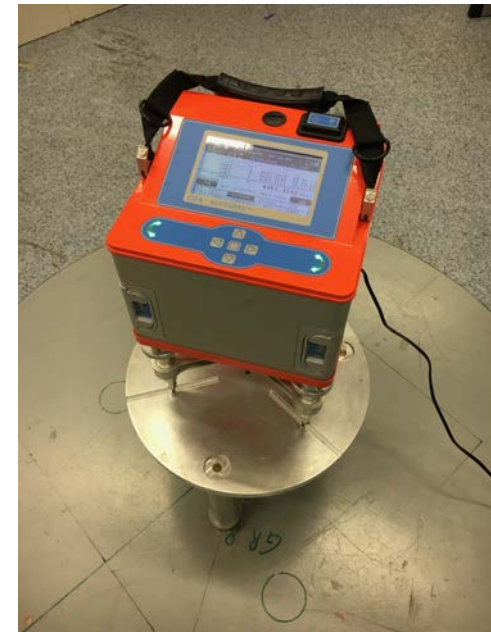
Des instruments



Portable (**très**), terrain
Dérive, nécessite A/R
Faible maintenance
6 Hz
 $\sigma_g = 10 \text{ nm.s}^{-2}$ en 100 s
 $\Delta g = 10 \text{ nm.s}^{-2}$

Absolus (2 FG5, 3 A10, 1 CAG, 2 AQG, développements ONERA)

Relatifs (3 CG5 (+n), 2 CG6 (+m))

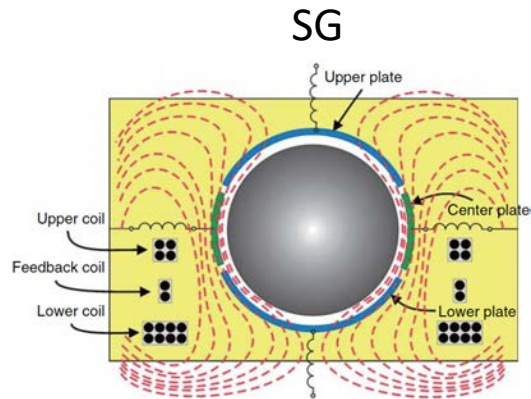
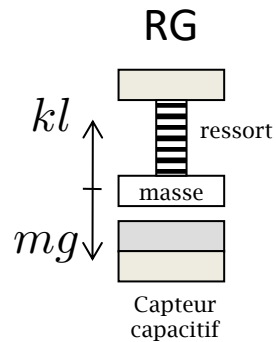


Des Instruments, relatifs, très sensibles

Des instruments

Absolus (2 FG5, 3 A10, 1 CAG, 2 AQG, développements ONERA)

Relatifs (3 CG5 (+n), 2 CG6 (+m), 2 iOSG, 2 iGrav (+3 ?), 1 OSG)



Portable (**très**), terrain
 Dérive, nécessite A/R
 Faible maintenance
 6 Hz
 $\sigma_g = 10 \text{ nm.s}^{-2}$ en 100 s
 $\Delta g = 10 \text{ nm.s}^{-2}$

Déplaçable, permanent ou semi-
 Dérive NL, nécessite suivi absolu
 Maintenance ~ annuelle
 12 Hz (1 Hz)
 $\sigma_g < 0.1 \text{ nm.s}^{-2}$ long terme
 Mesures continues



ASpéGRé

De nombreux acteurs

EOST, GEO-OCEAN, IPGP, LNE-SYRTE, OCA, OMP, OREME LSBB

Des instruments

Absolus (2 FG5, 3 A10, 1 CAG, 2 AQG, développements ONERA)

PIN PGrav

Relatifs (3 CG5 (+n), 2 CG6 (+m), 2 iOSG, 2 iGrav (+3 ?), 1 OSG)

Un SNO (Gravimétrie)

Services internationaux (IGETS, BGI)

Mutualisation, prêts, conseils

Clarification et/ou ré-organisation attendue

Instruments	RG Parc		Site permanent (SG)			
	AG Parc		propriétaire	gestion	lieu	Période ou
AG	FG5-206	INSU	ITES		Strasbourg	1996
	FG5-228	INSU	OREME		Larzac/Montpellier	2005
	AQG-A01	OMP	OMP		Toulouse	2017
	AQG-B01	INSU	OREME		Larzac/Montpellier	2019
	CAG	LNE-SYRTE	LNE-SYRTE		Trappes/Paris	2009
	A10-043	IGN	IGN			
SG	A10-014	IGN-IRD-IPGF	IGN-IRD-IPGF			2005
	A10-031	SHOM	SHOM		Brest	2014
	T005		EOST		Strasbourg	1987-1996
	C026		EOST		Strasbourg	1996-2018
	iOSG-023	INSU	EOST		Strasbourg	2016-
RG	iGrav-002	INSU	OREME		Larzac	2011-
	iGrav-005	LNE	LNE-SYRTE		Trappes	2013-
	iOSG-024	LSBB	LSBB/EOST		Rustrel	2015-
	OSG-060	INSU	EOST		Djougou	2010-2019
	iGrav-029	Critex	EOST		Strasbourg	2016-
	iGrav-030	Critex	EOST		Aubure	2017-
	iGrav-031	Critex	EOST		Rustrel	2019-
RG	CG3-193				Paris	1992
	CG5-167	INSU			Montpellier-Paris	2005
	CG5-323	INSU			Paris	1996 up2006
	CG5-379	INSU			Djougou ?	1997 up2007
	CG5-424	INSU			Souffrière ?	1998 up2007
	CG5-1151	INSU			Montpellier-Paris	2014
	CG5-1215	INSU			Montpellier-Paris	2014
	CG6-120	INSU			Montpellier-Paris	2019
CG6-125	INSU			Montpellier-Paris	2019	

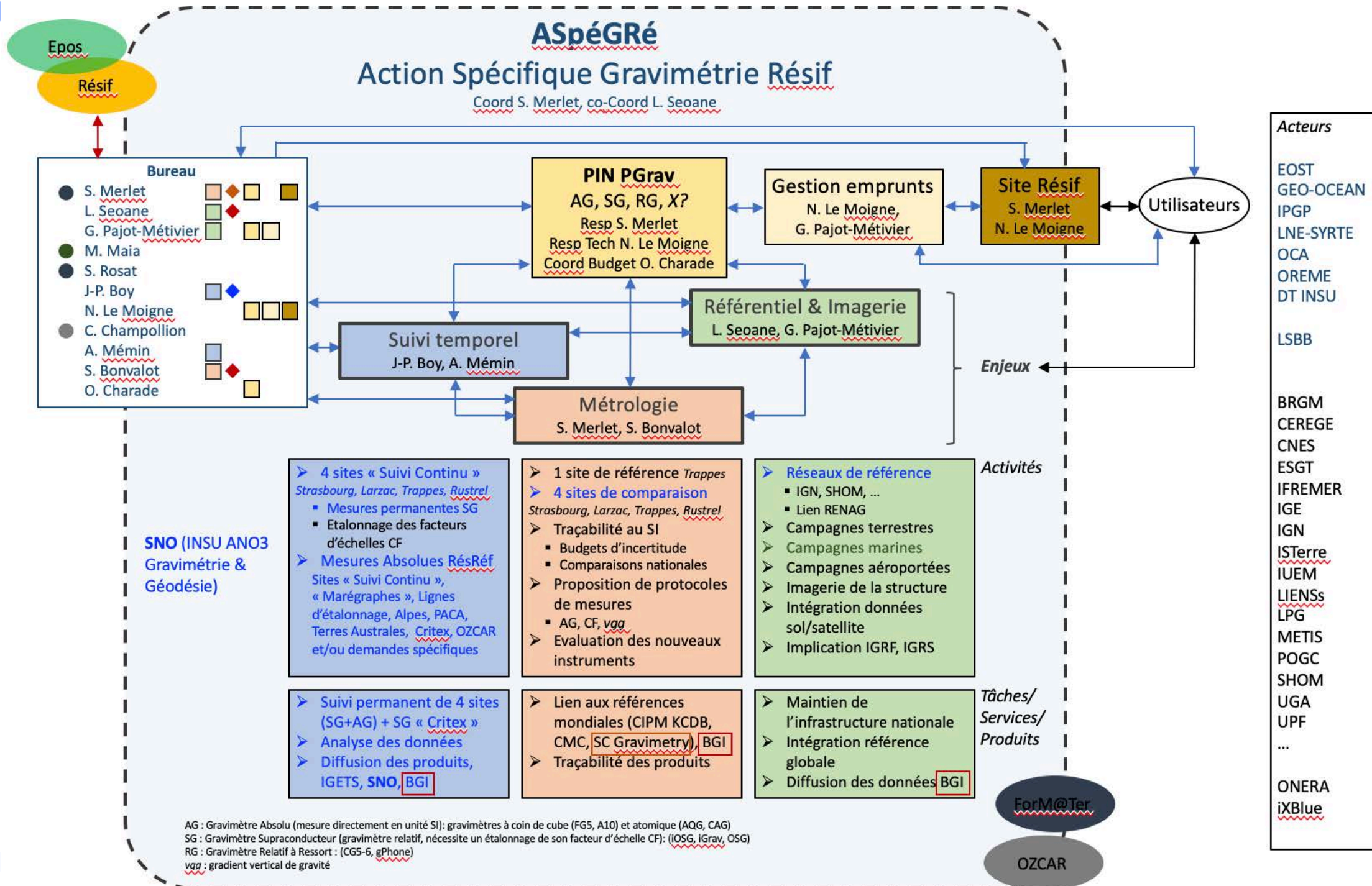
18/03/2022, Présentations aux instances

09/06/2022, CD Résif

ASpéGRé

Action Spécifique Gravimétrie Résif

Coord S. Merlet, co-Coord L. Seoane



SNO Gravimétrie

Le SNO Gravimétrie contribue :

- À deux services internationaux de l'**International Association of Geodesy** (IAG) : le **Bureau Gravimétrique International** (BGI) et l'**International Geodynamics and Earth Tide Service** (IGETS),
- Au **suivi temporel** des variations de gravité à partir *i)* d'un ensemble d'Observatoires équipés de **gravimètres supraconducteurs** et *ii)* des **mesures absolues répétées** sur le réseau de référence RésRéf

Principale contribution au "Suivi temporel", avec les **instruments du PIN PGrav**: *i)* superconducting gravimeters (SG) for continuous measurements, *ii)* absolute gravimeters (AG) for RésRéf measurements and for monitoring the instrumental drift of these SGs, determining their scale factor and monitoring it over time, and consequently *iii)* portable spring relative gravimeters (RG) for at least the determination of the vertical gravity gradient, the knowledge of which is necessary for the use of AGs. La traçabilité des mesures obtenues avec les AG et par conséquence les produits du SNO est menée dans l'enjeu "Métrologie".

RésRéf, 23 stations:

- 5 RF (Réseau Fondamental): Permanent gravity measurements stations with SG and Fundamental Geodetic Observatory station.
- 2 LC (Ligne de Calibration): stations to calibrate RG sensors.
- 4 RM (Réseau Marégraphique): Tide Gauges stations.
- 5 RP (Réseau Polaire).
- 7 RC (Réseau Collaboratif): stations measured in the frame of collaborations with OZCAR and RENAG.

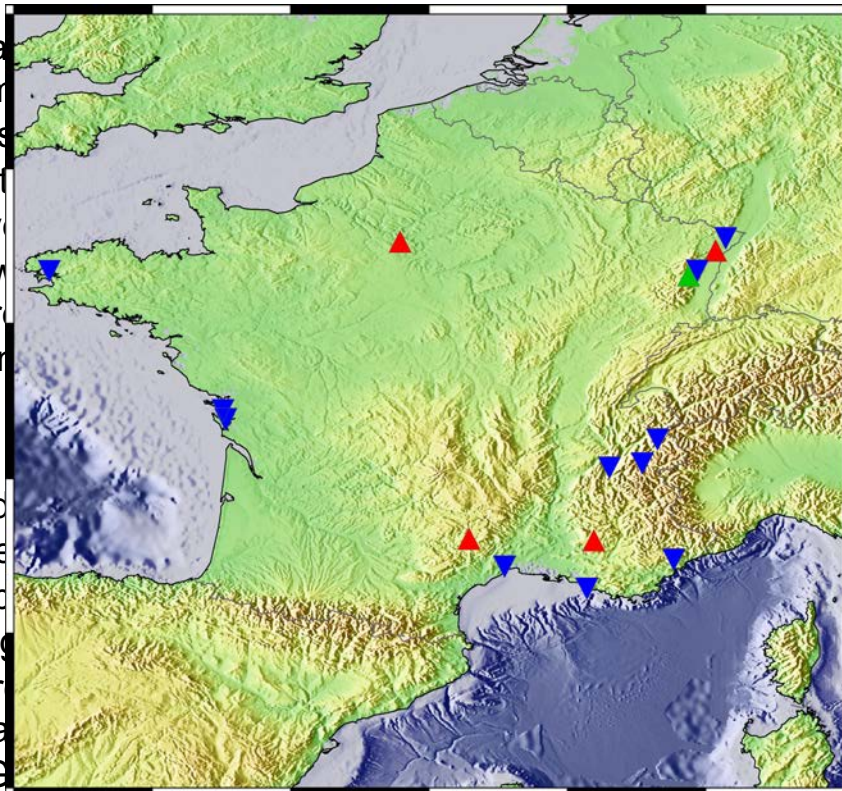
RésRéf		SG permanent non permanent					NA: non a			
RF: Réseau Fondamental; RM: Réseau Marégraphique; LC: L		gne Calibration; RP: Réseau Polaire; RC: Réseau Collaboratif								
Région	Lieu	Station	RésRéf	SG	GNSS	DORIS	SLR	VLBI	Mesure toutes les N années	# de mesures
Grand Est	RF	Strasbourg	STJ9	1987					NA	NA
	RC RENAG	Welschbruch	WLBH						1	19
	RC OZCAR RENAG	Soultz sous Forêt								3
	RC OZCAR RENAG	Aubure	AUBU	2017					1	9
Ile de France	RF	Trappes	TRAP	2013					NA	NA
		Paris								2
Languedoc	RF	Larzac	LARZ	2011					NA	NA
Midi-Pyrénées	LC	Montpellier								
	LC	Mont Aigoual								
		Puéchagut								
		Toulouse								
PACA	RF	Rustrel	RUST	2015					1	NA
	RC OZCAR	Rustrel		2019					1	
	RF	Grasse	CALR						1	11
		Obs. Nice								
Alpes	RC RENAG	Montgenèvre	JANU						3	
	RC RENAG	Le Chatel	CHTL						3	
	RC RENAG	St Eynard	STEY						3	
Marégraphe	RM SONEL SHOM	Brest	BRST						2	14
	RM SONEL SHOM	La Rochelle	LRCH						2	13
	RM SONEL SHOM	Ile d'Aix	IAIX						2	9
	RM SONEL SHOM	Marseille	MARS						1	4
Terres Australes et Antarctique	RP IPEV	Dumont D'Urville	DUMO						4	4
	RP IPEV	Amsterdam	AMST						4	2
	RP IPEV	Crozet	CROZ						4	2
	RP IPEV	Kerguelen	KERG						4	2
	RC SNOV	La Réunion	OBSR						4	2
	RP IPEV	Ny-Alesund	NYAL						2	8

SNO Gravimétrie

Le SNO Gravimétrie contribue :

- À deux services internationaux de l'**International Association of Geodesy** (IAG) : le **Bureau Gravimétrique International** (BGI) et l'**International Geodynamics and Earth Tide Service** (IGETS),
- Au **suivi temporel** des variations de gravité à partir *i)* d'un ensemble d'Observatoires équipés de **gravimètres supraconducteurs** et *ii)* des **mesures absolues répétées** sur le réseau de référence RésRéf

Principale contribution à la stabilité du référentiel géodésique par le biais de superconducting gravimeters (AG) for RésRéf, déterminant les variations de gravité à partir *iii)* portable spring relative gravity gradient, the known gravity gradient, the known gravity gradient. La traçabilité des mesures RésRéf est menée dans l'ensemble du territoire.



AG FIRST-TF 4-5/10/2022 Besançon

Le Réseau Permanent Gravimétrique (PGrav) est composé de stations équipées de gravimètres supraconducteurs (AG) pour le suivi temporel de la dérive géométrique du référentiel géodésique et des variations de la gravité. Les produits du PGrav sont utilisés pour le suivi temporel de la dérive géométrique du référentiel géodésique et des variations de la gravité.

Les stations du Réseau Permanent Gravimétrique (PGrav) sont équipées de gravimètres supraconducteurs (AG) pour le suivi temporel de la dérive géométrique du référentiel géodésique et des variations de la gravité.

Les stations du Réseau Permanent Gravimétrique (PGrav) sont équipées de gravimètres supraconducteurs (AG) pour le suivi temporel de la dérive géométrique du référentiel géodésique et des variations de la gravité.

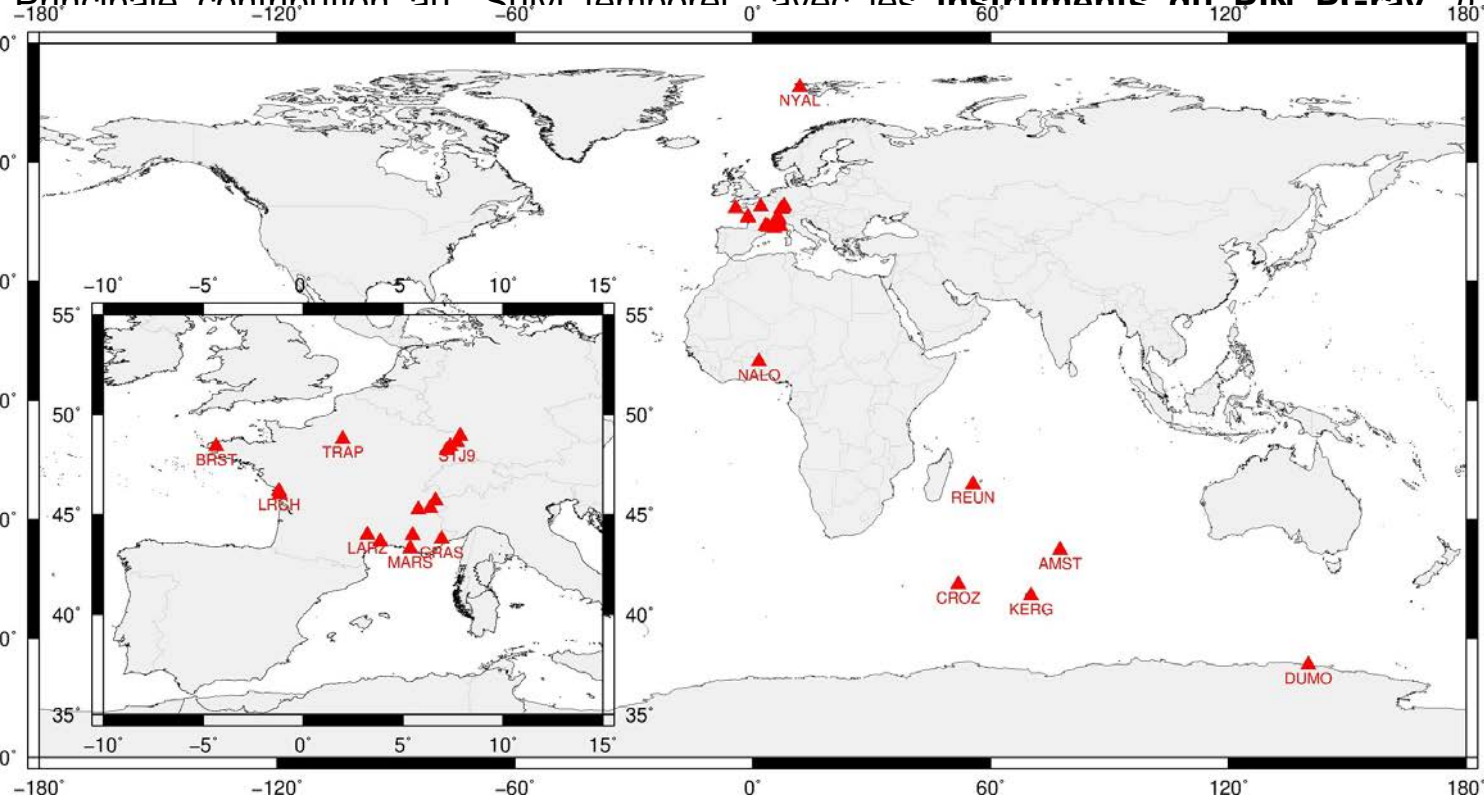
Région	Collaboration	Lieu	Station RésRéf	SG					Mesure toutes les N années	# de mesures
				permanent	non permanent	NA: non a	NA: non a	NA: non a		
				SG	GNSS	DORIS	SLR	VLBI		
Grand Est	RF	Strasbourg	STJ9	1987					NA	NA
	RC RENAG	Welschbruch	WLBH						1	19
	RC OZCAR RENAG	Soultz sous Forêt							3	
Ile de France	RC OZCAR RENAG	Aubure	AUBU	2017					1	9
	RF	Trappes	TRAP	2013					NA	NA
Languedoc	RF	Larzac	LARZ	2011					NA	NA
	Midi-Pyrénées	Montpellier								2
PACA	RF	Puéchagut								
	RF	Toulouse								
	RF	Rustrel	RUST	2015					1	NA
Alpes	RC OZCAR	Rustrel		2019					1	
	RF	Grasse	CALR						1	11
	RF	Obs. Nice								
Marégraphie	RC RENAG	Montgenèvre	JANU						3	
	RC RENAG	Le Chatel	CHTL						3	
	RC RENAG	St Eynard	STEY						3	
Marégraphie	RM SONEL SHOM	Brest	BRST						2	14
	RM SONEL SHOM	La Rochelle	LRCH						2	13
	RM SONEL SHOM	Ile d'Aix	IAIX						2	9
	RM SONEL SHOM	Marseille	MARS						1	4
Terres Australes et Antarctique	RP IPEV	Dumont D'Urville	DUMO						4	4
	RP IPEV	Amsterdam	AMST						4	2
Terres Australes et Antarctique	RP IPEV	Crozet	CROZ						4	2
	RP IPEV	Kerguelen	KERG						4	2
	RC SNOV	La Réunion	OBSR						4	2
	RP IPEV	Ny-Alesund	NYAL						2	8

SNO Gravimétrie

Le SNO Gravimétrie contribue :

- À deux services internationaux de l'**International Association of Geodesy** (IAG) : le **Bureau Gravimétrique International** (BGI) et l'**International Geodynamics and Earth Tide Service** (IGETS),
- Au **suivi temporel** des variations de gravité à partir *i)* d'un ensemble d'Observatoires équipés de **gravimètres supraconducteurs** et *ii)* des **mesures absolues répétées** sur le réseau de référence RésRéf

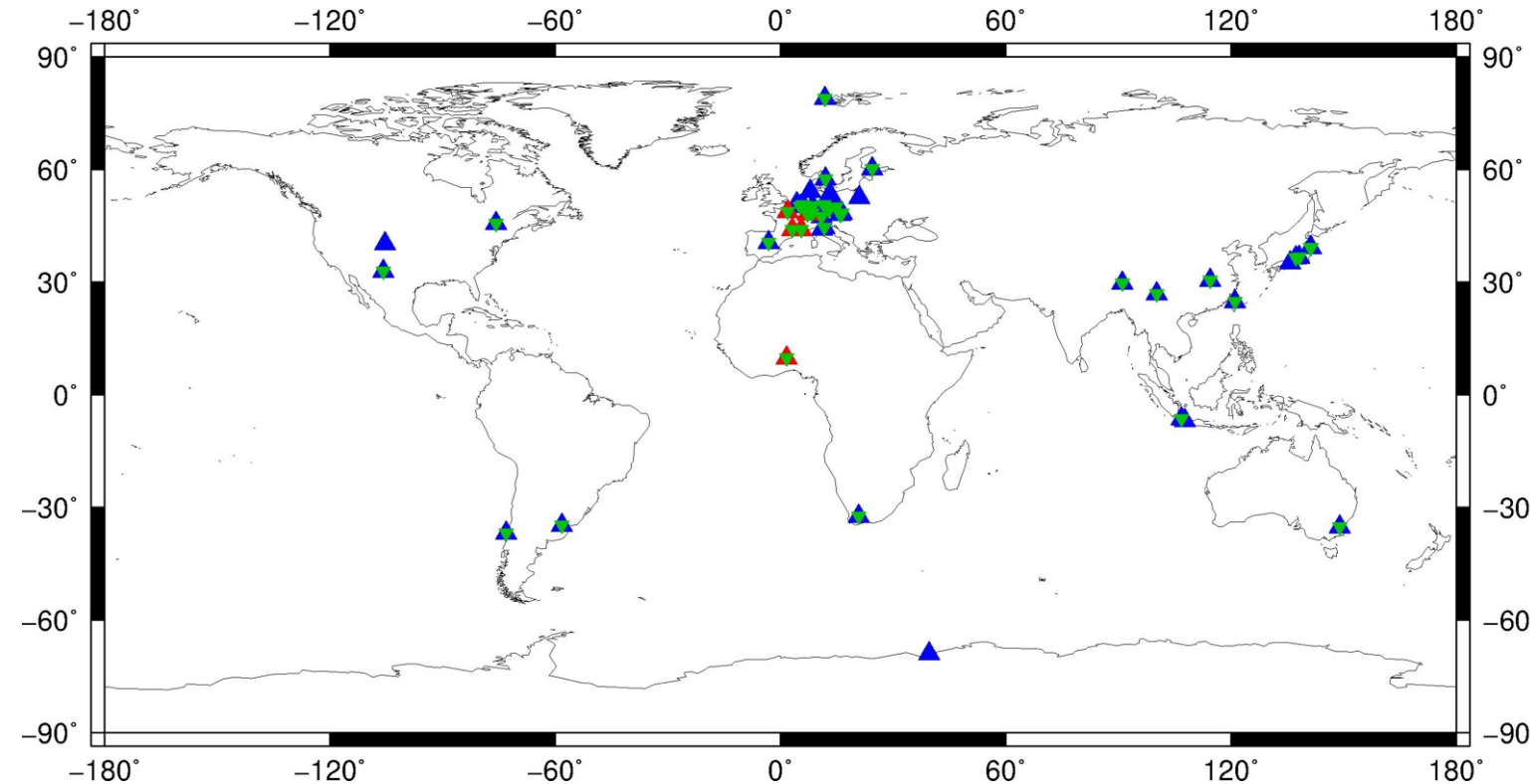
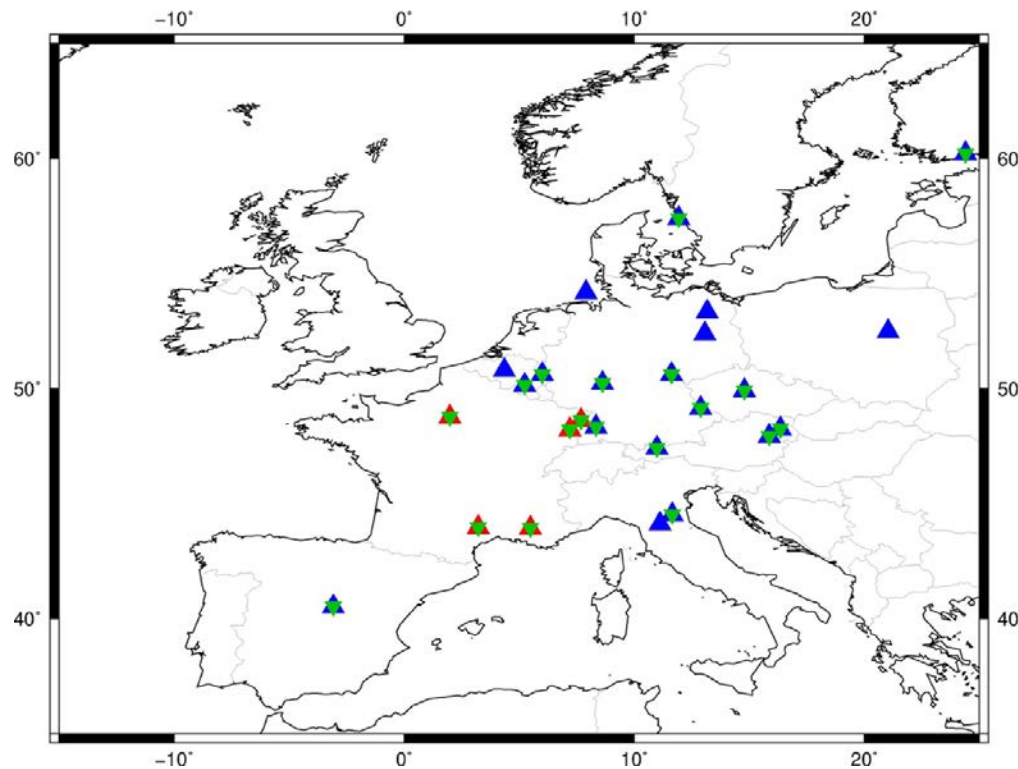
Principale contribution au "Suivi temporel" avec les instruments du DIN DG Grav i)



RésRéf			SG					permanent		non permanent		NA: non a
RF: Réseau Fondamental; RM: Réseau Marégraphique; LC: Ligne Calibration; RP: Réseau Polaire; RC: Réseau Collaboratif												
Région	Collaboration	Lieu	Station RésRéf	SG	GNSS	DORIS	SLR	VLBI	Mesure toutes les N années	# de mesures		
Grand Est	RF	Strasbourg	STJ9	1987					NA	NA		
	RC RENAG	Welschbruch	WLBH						1	19		
	RC OZCAR RENAG	Soultz sous Forêt								3		
Ile de France	RC OZCAR RENAG	Aubure	AUBU	2017					1	9		
	RF	Trappes	TRAP	2013					NA	NA		
Languedoc	RF	Paris								2		
	RF	Larzac	LARZ	2011					NA	NA		
Midi-Pyrénées	LC	Montpellier										
	LC	Mont Aigoual										
PACA	RF	Puéchagut										
	RF	Toulouse										
PACA	RF	Rustrel	RUST	2015					1	NA		
	RC OZCAR	Rustrel		2019					1			
Alpes	RF	Grasse	CALR						1	11		
	RC RENAG	Obs. Nice										
	RC RENAG	Montgenèvre	JANU						3			
Alpes	RC RENAG	Le Chatel	CHTL						3			
	RC RENAG	St Eynard	STEY						3			
	RC RENAG											
Marégraphie	RM SONEL SHOM	Brest	BRST						2	14		
	RM SONEL SHOM	La Rochelle	LRCH						2	13		
Marégraphie	RM SONEL SHOM	Ile d'Aix	IAIX						2	9		
	RM SONEL SHOM	Marseille	MARS						1	4		
Terres Australes et Antarctique	RP IPEV	Dumont D'Urville	DUMO						4	4		
	RP IPEV	Amsterdam	AMST						4	2		
Terres Australes et Antarctique	RP IPEV	Crozet	CROZ						4	2		
	RP IPEV	Kerguelen	KERG						4	2		
Terres Australes et Antarctique	RC SNOV	La Réunion	OBSR						4	2		
	RP IPEV	Ny-Alesund	NYAL						2	8		

Objectifs scientifiques:

- Processus géophysiques internes (modes normaux, marées solides...)
- Processus géophysiques externes (atmosphère, marées océaniques, hydrologie continentale...)
- Définition du nouveau système de référence gravimétrique mondial



Métrologie

5 (+3) Absolus (2 FG5, 3 A10, 1 CAG, 2 AQG)

4 sites

4 SG Relatifs (2 iOSG, 2 iGrav (+3 ?), 1 OSG)

5 (+?) RG Relatifs (3 CG5 (+n), 2 CG6 (+m))

- bilan métrologique, traçabilité au SI,
- participation aux comparaisons clefs (alternance CAG, FG5, AQG)
« rapatriement » de la KCRV
- comparaisons nationales ouvertes aux AG IGN, SHOM, ...
- site LNE-Trappes (laser, horloge, diffraction...)
- site ouvert aux utilisateurs (AG et RG)
- étalonnage du facteur d'échelle des SG avec les différents AG,
mesure de la fonction de transfert des SG
- protocoles de mesures, vérification des instruments

Qualité des produits SNO, IGETS, BGI, cartes, référentiels et réseaux



- caractérisation des développements (ex AQG)
- sites caractérisés de tests pour les utilisateurs et fabricants



Exemple de prêts

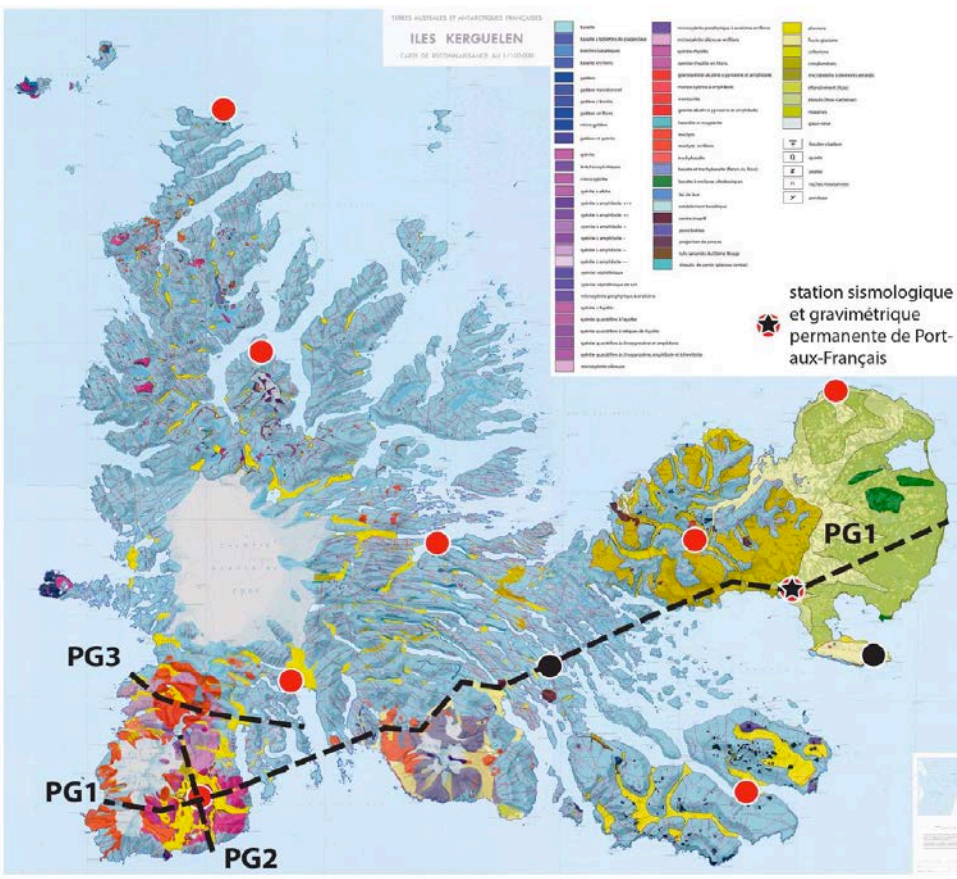


Fluids and magmas transfers through the lithosphere of Kerguelen



Connaissance de la nature, de la structure et de l'évolution du manteau lithosphérique et des roches volcaniques.

Projet : couplage sismo-gravi pour l'étude des structures profondes

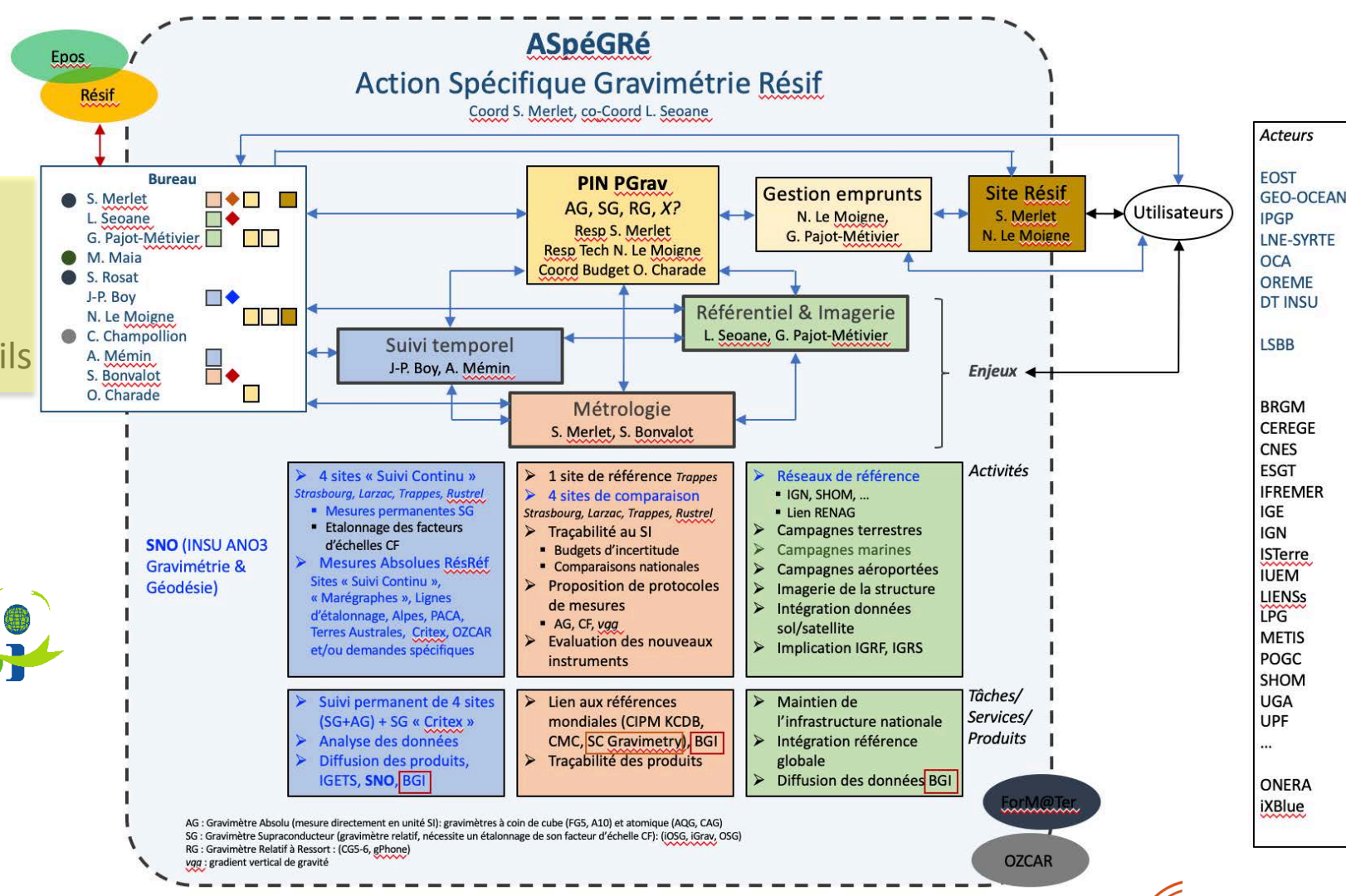
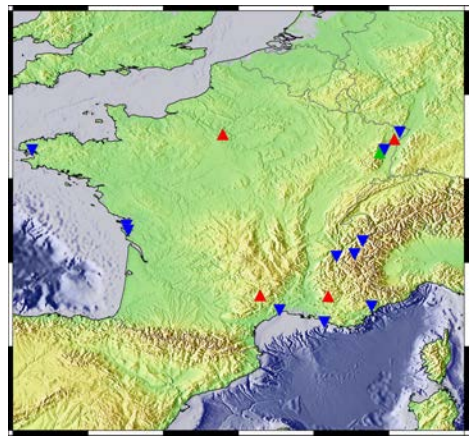


Conclusion, évolution



Des instruments
8 AG, 4-5(+3?)SG, 5(+?)RG
Gestion, métrologie,
Mutualisation, prêts, conseils

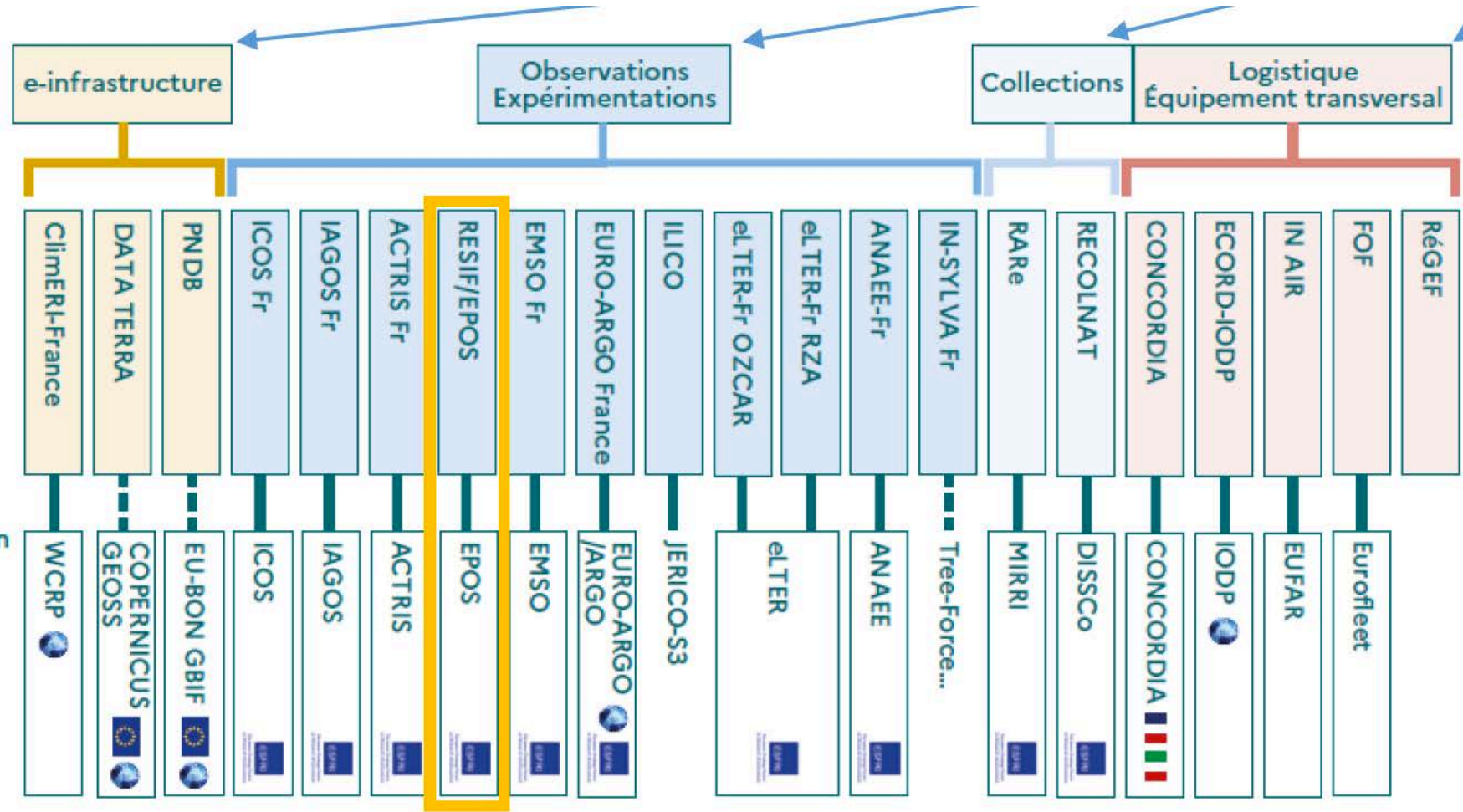
Un SNO
Services internationaux
Mesures continues, RésRéf



- Acteurs**
- EOST
 - GEO-OCEAN
 - IPGP
 - LNE-SYRTE
 - OCA
 - OREME
 - DT INSU
 - LSBB
 - BRGM
 - CEREGE
 - CNES
 - ESGT
 - IFREMER
 - IGE
 - IGN
 - ISTerre
 - IUEM
 - LIENSs
 - LPG
 - METIS
 - POGC
 - SHOM
 - UGA
 - UPF
 - ...
 - ONERA
 - iXBlue



Conclusion, évolution



IR* &
IR nationales



Miroir européen
Miroir ESFRI
Réseau international



Suivi continu

