
Une compilation des âges radiochronologiques publiés antérieurement à 2016 sur le Massif armoricain.

Inventaire et mise en forme des données, perspectives pour des acquisitions futures

A compilation of radiochronological ages obtained before 2016 on the Armorican Massif. Inventory and data organization, perspectives for future acquisitions

Denis THIÉBLEMONT (1)
Catherine GUERROT
Frédéric SIMIEN
Carol ZAMMIT

Géologie de la France, n° 1, 2017, p. 27-46, 6 fig., 4 tabl.

Mots-clés : Géochronologie, Datation, Bretagne, Normandie, Massif armoricain

Keywords: Geochronology, Datation, Brittany, Normandy, Armorican Massif

Résumé

Une analyse bibliographique nous a permis de répertorier 1450 âges radiochronologiques sur les roches du Massif armoricain, provenant de sources variées totalisant près de 200 œuvres scientifiques (incluant un grand nombre de cartes, notices et rapports réalisés dans le cadre du Programme de la Carte géologique de la France à 1/50 000), obtenus par un nombre restreint de méthodes analytiques.

Ces données sont compilées dans un tableau mis à disposition en format numérique documentant en particulier : l'âge et son incertitude statistique, les coordonnées géographiques de l'échantillon daté (connues avec une précision très variable selon les sources), la nomenclature géologique, la méthode analytique et l'interprétation de l'âge selon ses auteurs, ceci incluant une catégorie « mal contraint » pour des âges dont une interprétation univoque ne peut être proposée. Une partie de cette information est formalisée selon des lexiques simples et pragmatiques, élaborés au fil de la saisie et ainsi adaptés aux spécificités du corpus de données.

Cette compilation constitue un premier pas vers le partage d'une base de connaissances évolutive par la communauté scientifique destinée à intégrer la base de données nationale du Référentiel Géologique de la France (RGF). Elle permet d'ores et déjà de mettre en évidence quelques lacunes de connaissance dont les plus importantes (en termes d'âge de mise en place), nous semblent être : 1/ les séries paradérivées de la zone interne varisque (domaines sud-armoricain et du Pays de Léon) ; 2/ les complexes basiques à bimodaux de ce même domaine, incluant les unités méso- à catazonales jalonnant les zones de suture varisques.

Abstract

From a bibliographical investigation, 1450 radiochronological ages, obtained by a limited number of analytical methods, are compiled on rocks from the Armorican Massif. They come from varied sources amounting about 200 scientific works, including a great number of maps and explanatory notes performed in the frame of the Program of the Geological map of France at 1/50 000 scale.

These data are presented as a table available in numeric format attached to the present article and including: the age and its statistic incertitude, the geographical coordinates of the dated sample (which precision is strongly variable from one study to another), the geological nomenclature, the analytical method and the interpretation of the age as proposed by the authors (this including a "weakly constrained" category corresponding to ages with no unequivocal interpretation).

This compilation could be a first step toward an evolutive data base shared by a large scientific community in the perspective of the constitution of a national geological data base in the frame of the new Référentiel Géologique de la France (RGF) program. As far as today is concerned, the compilation presented reveals some significant gaps in the knowledge of emplacement ages of Armorican rocks, the most evident being: 1/ the metasedimentary terrains of the internal Variscan zone; 2/ the basic to bimodal magmatic units in the same zone, including the catazonal rocks marking the Variscan suture zones (the so-called "leptyno-amphibolitic group").

(1) BRGM, B.P. 6009, 45060 Orléans Cedex d.thieblemont@brgm.fr

* Manuscrit soumis le 26/04/2017, accepté le 13/06/2017

1. Introduction

Cet article présente une compilation d'âges géochronologiques obtenus sur les roches du Massif armoricain, dont seule la partie « socle » est ici considérée. Dans cette région comme dans les autres domaines de socle français, de multiples études géochronologiques ont été réalisées depuis une cinquantaine d'années, dont la précision et la fiabilité se sont accrues avec le temps. Un vaste corpus d'âges est aujourd'hui disponible dont les interprétations ne sont pas toujours univoques. Chaque scientifique peut avoir son propre point de vue selon différents paramètres : fiabilité de la méthode de datation, représentativité de l'échantillon (ou des échantillons), aptitude de l'âge à dater un type d'événement, sensibilité de la méthode à des phénomènes secondaires etc.

L'utilisation de la géochronologie est parfois teintée d'une certaine subjectivité, aussi nous semblait-il indispensable d'adopter la démarche la plus neutre possible. Sur des sujets sensibles tels que : le calcul de l'âge, sa signification ou son attribution à une entité géologique, notre choix, à quelques exceptions près, a été de reproduire les indications et interprétations des auteurs, et de ne pas opérer de sélection, sous réserve que la qualité des données nous semblait garantie. Il ressort ainsi du corpus de données une grande hétérogénéité et un degré très variable « d'exploitabilité ».

Cette compilation est fournie sous forme d'un fichier téléchargeable à partir du site <http://geolfrance.brgm.fr> importable dans des logiciels courants de type ExcelTM ou AccessTM et incluant une liste bibliographique complète. Cette mise à disposition offre toutes possibilités pour l'utilisateur de modifier la base une fois celle-ci téléchargée. Au-delà, l'objectif est de constituer une base d'information partagée et évolutive couvrant l'ensemble du socle français et destinée à intégrer la base de données nationale du Référentiel Géologique de la France (RGF) en cours de construction.

Dans son format actuel de type « tableur », la compilation inclut un code séquentiel nommant chaque entrée de façon univoque. Ce code, qui occupe la première colonne de la table, est un simple nombre attribué en ordre croissant au fil des entrées. La valeur maximum du code (1540) est légèrement supérieure au nombre de lignes (1538) car deux entrées qui faisaient doublons ont été supprimées a posteriori.

2. Sources des données

Notre compilation porte sur les années 1962 à 2015, année où la rédaction de cet article a été engagée. Les travaux compilés sont essentiellement des thèses, articles, rapports et notices de cartes géologiques. Seuls sont pris en compte des travaux garantissant la fiabilité des données analytiques, quelle que soit la précision des âges déduits de ces données.

Quelques rares données mentionnées comme « comm. pers. », correspondent à des âges obtenus de

façon informelle, dont l'intérêt nous semblait suffisant pour qu'ils soient portés à la connaissance, mais dans l'objectif d'une validation plus que d'une utilisation. Par ailleurs, certains âges référencés comme « in » (ex. F. Dondin [2004] *in* C. Dubois [2014]) correspondent à des données citées par un auteur mais dont nous n'avons pas retrouvé la source.

Une définition précise de l'entité géologique datée était une autre condition indispensable à la sélection des données. Cette question est largement développée dans la section « Référencement géographique et nomenclature géologique ». Replacer des données anciennes dans un référentiel géologique moderne peut prendre beaucoup de temps. La tâche a donc été laissée en suspens pour certaines données de faible intérêt publiées dans les années 60 ou au début des années 70. Les items « référencement » y sont ainsi mentionnés comme « à documenter ».

Au total, les âges compilés sont issus de 200 œuvres scientifiques intégralement référencées dans la section « Bibliographie » du présent article et qui apparaissent également au sein du fichier mis à disposition en téléchargement. La référence y est indiquée de façon conventionnelle, avec la chaîne complète des auteurs et collaborateurs suivie de l'année de publication mise entre parenthèses. Celle-ci est reproduite dans une colonne séparée, offrant la possibilité de sélectionner de données en fonction de l'année de publication. Une table indépendante reprend la liste des références de la deuxième colonne et les complète en donnant, dans une colonne séparée et en une chaîne unique de caractères, le titre de l'œuvre et son référencement bibliographique complet.

Pour chaque référence, le nombre d'âges est très variable, et le format tableur amène à reproduire la même référence dans chaque ligne correspondant à un âge particulier qui en est issu. Un format de base de données plus élaboré permettra d'éviter ce type de répétition.

Le plus fréquemment, une seule œuvre est référencée pour un âge donné, mais plusieurs peuvent également apparaître si les informations qu'elles donnent se complètent (ex. une référence donne la localisation et la nature précise de l'échantillon et l'autre correspond à la datation proprement dite). La possibilité existe également qu'un même âge puisse être publié dans plusieurs œuvres, par exemple dans le cas de données parues successivement dans une thèse puis un article. Dans ce cas une seule référence est mentionnée si elle fournit toutes les informations requises.

Un cas particulier concerne les âges obtenus par une méthode utilisant un système isotopique dont la constante de désintégration a fait l'objet d'une révision postérieure à la réalisation et la publication des analyses. Le cas le plus fréquent est celui du système Rb-Sr dont tous les âges anciennement déterminés d'après des constantes à $1,39 \cdot 10^{-11} \text{ an}^{-1}$ ou $1,47 \cdot 10^{-11} \text{ an}^{-1}$ ont été recalculés avec la constante réactualisée à $1,42 \cdot 10^{-11} \text{ an}^{-1}$. Dans ce cas, les âges reportés ne sont pas strictement les mêmes que ceux publiés par les auteurs. En revanche, aucune correction n'a

pas été opérée pour deux séries d'âges obtenus antérieurement à 1980 par le système K-Ar (Adams, 1967 ; 1976) et calculés avec des constantes de désintégration légèrement différentes de celles actuellement préconisées.

3. Structuration des données

3.1. Schéma général

Outre les éléments bibliographiques indiqués ci-dessus, le tableau de compilation inclut un certain nombre d'informations indispensables à une utilisation « raisonnée » des âges. Celles-ci couvrent différents domaines plus ou moins indépendants les uns des autres :

- le nom de l'échantillon et sa nature – Il s'agit de préciser la relation échantillon – lithologie – âge qui est loin d'être univoque. Tout âge renvoie nécessairement à un échantillon rocheux, néanmoins un même échantillon peut livrer des âges différents selon la méthode de datation et plusieurs échantillons de lithologies plus ou moins différentes peuvent correspondre à un âge unique si ce dernier a été obtenu pas une méthode de type isochrone sur roche totale ;
- les méthodes de datation – Il s'agit de décrire et codifier le type d'analyse qui a été effectué, ceci recouvrant une chaîne de processus allant de l'échantillonnage sur le terrain au calcul de l'âge par traitement des analyses ;
- l'incertitude et la signification des âges – Il s'agit de prendre en compte les différents facteurs déterminant la capacité d'un âge donné à contraindre un événement géologique particulier ;
- le référencement géographique et la nomenclature géologique – Il s'agit de situer l'échantillon sur une carte, mais surtout de savoir précisément à quelle entité géologique il se rattache au sein d'un référentiel lithostratigraphique prédéterminé.

3.2. Nom d'échantillon et lithologie

Le nom d'échantillon reproduit dans la table (noté N_Echantillon) est généralement celui qu'utilise l'auteur pour désigner la roche qu'il a datée, ou à défaut, le nom de l'entité datée (ex. Pouzauges pour une datation portant sur le granite du même nom). Dans différents cas, la simple mention « non_nommé » a été utilisée pour indiquer qu'aucun nom n'est attribué par les auteurs à leurs échantillons datés.

Pour une roche ayant fait l'objet de plusieurs datations, un même nom apparaît pour les différents âges obtenus. À l'inverse, si un âge a été déterminé à partir d'échantillons provenant d'affleurements distants (ex. datation par la méthode Rb-Sr sur roche totale), un même âge est affecté à chacun des échantillons (ce point est détaillé plus avant dans la section « référencement géographique et nomenclature géologique »).

La lithologie de l'échantillon daté est reproduite telle que donnée par l'auteur ou déduite de ses informations si elle n'est pas explicitement précisée. Dans un cas (Adams, 1976), la mention « non-documenté » a été utilisée pour indiquer qu'une information précise sur la nature des échantillons datés n'était pas disponible.

À partir de cette information brute, une lithologie simplifiée a été attribuée qui utilise un certain nombre de termes communs, mais non codifiés de façon rigoureuse. Dans son état actuel, cette liste comprend une cinquantaine de noms (Tableau 1). À terme (perspective RGF), un formalisme plus rigoureux pourra être introduit, basé sur un lexique lithologique hiérarchisé et validé, avec le risque d'une complexification de la saisie si ce lexique est peu adapté.

Amphibolite	Gneiss	Métadolérite	Mylonite
Andésite	Granite	Métagabbro	Orthogneiss
Aplite	Granite d'anatexie	Métagranite	Paragneiss
Cinérite	Granodiorite	Métamicrogranite	Pyroxénite
Conglomérat	Granulite	Métarhyolite	Quartz
Cornéenne	Greisen	Métavolcanite	Rhyodacite
Cumulat	Grès	Micaschiste	Rhyolite
Dacite	Greywacke	Microgranite	Schiste bleu
Diorite	Lamprophyre	Microsyénite	Tonalite
Diorite quartzifère	Leucogranite	Microtrondhjémite	Trachyandésite
Dolérite	Métabasalte	Migmatite	Trondhjémite
Eclogite	Métabasite	Monzodiorite	
Gabbro	Métadiorite	Monzogranite	

Tableau 1 - Inventaire des noms de roches de la rubrique LITHOLOGIE_SIMPLIFIEE de la compilation à la date de publication de cet article.

Table 1 - Inventory of the names used to designate the dated rocks in the data base.

3.3. Méthodes de datation

Le terme de méthode de datation comprend une suite d'opérations : (1) échantillonnage, (2) sélection du système isotopique et de l'objet auquel il est appliqué, (3) traitements physiques et/ou chimiques de cet objet, (4) analyse isotopique par un certain type d'appareillage, (5) calcul d'un (ou plusieurs) âge(s) et de son (leurs) incertitude(s) analytique(s) selon des méthodologies variées.

Ensuite, chaque âge obtenu, entaché de son incertitude, doit faire l'objet d'une interprétation visant à déterminer sa « signification ». Ce point est examiné dans une section ultérieure.

SYSTÈME	METHODE
K-Ar	K-Ar roche totale
	K-Ar minéral
Ar-Ar	Ar-Ar roche totale
	Ar-Ar minéral
Rb-Sr	Rb-Sr isochrone minéraux
	Rb-Sr isochrone roche totale
	Rb-Sr isochrone roche totale – minéral
	Rb-Sr isochrone roche totale - minéraux
Pb-Pb	TIMS ancien
	TIMS Evaporation
U-Pb	LASER-ICPMS
	SHRIMP
	TIMS Dissolution
U-Th-Pb	LASER-ICPMS
U-Th-Pb	MSE monazite
Sm-Nd	Sm-Nd roche totale – minéral
traces de fission	traces de fission sphène
	traces de fission apatite

Tableau 2 - Nomenclature utilisée pour la désignation des méthodes de datation, incluant la mention du système isotopique et un nom courant. Dans cette catégorie, la nature de l'objet analysé (nature du minéral en particulier) est également renseignée mais non reproduite ici.

Table 2 - Nomenclature used for the designation of the dating method, including its isotopic system and current name. The names of the minerals used for dating are also indicated in the data base but not detailed in this table.

Pour la caractérisation du processus strictement analytique aboutissant au calcul d'un âge, la compilation donne trois types d'information : (1) le système isotopique utilisé, (2) l'objet analysé, (3) la désignation commune de la méthode (qui sous-entend un certain appareillage et protocole de calcul). Le tableau 2 inventorie les items 1 et 3.

Les systèmes isotopiques utilisés, dont nous ne donnerons pas le détail des réactions nucléaires, reposent sur les groupes d'éléments suivants : K-Ar, U-Th-Pb, Sm-Nd. Selon la nature des processus de désintégration pris en compte, il en découle 8 systèmes classiquement désignés K-Ar, Ar-Ar, Rb-Sr, Pb-Pb, U-Pb, U-Th-Pb et Sm-Nd. A ceux-ci s'ajoute la technique des traces de fission, encore peu utilisée dans le massif armoricain et dont les applications portent surtout sur les évolutions topographiques récentes des socles cristallins.

En ce qui concerne les systèmes K-Ar et Ar-Ar, nous avons distingué deux cas : (1) application à une roche totale ; (2) application à un minéral séparé (dont la nature est précisée). Cette classification regroupe néanmoins des méthodologies de traitement, d'analyse et de calcul diversifiées que nous n'avons pas cherché à détailler plus avant.

Le système Rb-Sr peut s'appliquer aux roches comme aux minéraux et son utilisation rigoureuse suppose la construction d'une isochrone à partir d'un ensemble d'objets ayant la même composition isotopique initiale (c'est-à-dire au moment de la fermeture du système isotopique). Parmi les âges isochrones compilés dans la base, nous avons distingué ceux issus d'analyses faites sur minéraux ou roches totales uniquement, et ceux associant roche totale et minéraux (parfois un seul minéral).

Un assez grand nombre d'âges produits dans des travaux anciens utilisent une méthodologie dite « d'âge modèle » consistant à affecter une valeur théorique au rapport isotopique initial $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. Ces âges, présentés dans la base de données par soucis d'exhaustivité, sont purement théoriques et, en toute rigueur, inutilisables. Pour certains minéraux particulièrement riches en Rb et pauvres en Sr, l'âge modèle calculé peut être moins aléatoire, mais très loin des standards d'une géochronologie moderne.

Les méthodes basées sur les isotopes radiogéniques de U et Th sont actuellement les plus utilisées et s'appliquent principalement à des minéraux accessoires riches en ces éléments : zircon et monazite principalement, mais également titanite, rutile ou thorianite. Initialement, elles ont été mises en œuvre sur des populations de minéraux séparés, mais différentes techniques permettent désormais d'effectuer des analyses ponctuelles donnant l'âge de cristallisation d'une zone particulière d'un cristal. Au total, nous distinguons cinq méthodes principales : (1) spectrométrie de masse dite par « dissolution » (TIMS Dissolution), (2) spectrométrie de masse par « évaporation » (TIMS Evaporation), (3) analyse par sonde ionique (SHRIMP), (4) dispositif couplé associant Laser et spectrométrie plasma (LA-ICPMS) auxquels s'ajoute (5) une méthode non isotopique basée sur le dosage élémentaire, à la microsonde électronique, de U, Th et Pb dans la monazite (MSE monazite). Notons enfin l'existence de quelques données obtenues à l'aube de la spectrométrie de masse (TIMS ancien) d'intérêt strictement qualitatif.

La dernière méthode inventoriée repose sur l'utilisation du système Sm-Nd. Nous avons compilé assez peu d'analyses de ce type, uniquement appliquées à des couples roche totale – minéral dans le but de documenter un âge de métamorphisme (ex. cristallisation du grenat pour des couples roche totale - grenat).

3.4. Âge : incertitudes

Les âges et leurs marges d'erreur ont été reproduits tels que publiés par les auteurs, sauf lorsqu'ils ont dû être recalculés avec des constantes réactualisées (âges Rb-Sr). Ces données sont subjectives puisque la détermination d'un âge à partir d'un ensemble d'analyses suppose des traitements mathématiques pas toujours identiques selon les auteurs. Néanmoins, nous n'avons considéré que des travaux scientifiques ayant fait l'objet d'une évaluation scientifique suffisante (« review » ou jury ad-hoc), en

matière de fiabilité analytique comme de traitement des analyses.

Pour autant, la fiabilité analytique n'est pas synonyme de précision : une méthode peut-être fiable mais donner un résultat peu précis. Ceci apparaît *in fine* dans l'incertitude affectée à l'âge, tel qu'il ressort de la propagation des incertitudes propres à chaque étape du processus analytique. Un âge à ± 50 Ma peut être fiable dans sa marge d'incertitude, par contre, il est peu précis et donc inadapté à des investigations nécessitant des résultats précis. Il peut néanmoins être utile sous réserve que son utilisateur n'évade pas sa faible précision. Aucune sélection n'a ainsi été opérée en fonction de l'incertitude, mais aucun âge sans incertitude n'a été compilé.

Lorsque disponible, le paramètre MSWD (« Mean Square of Weighted Deviates ») a été reproduit pour information, mais ne sera pas commenté.

3.5. Âge : signification

Indépendamment de sa précision, l'âge a une signification : il correspond à un événement particulier enregistré et mis en mémoire par le système isotopique au moment de sa fermeture, ceci incluant une possible réouverture/refermeture postérieurement à la cristallisation de l'objet daté. Au-delà de sa précision, la fiabilité d'un âge peut donc s'évaluer en fonction de sa capacité à dater un événement particulier. Un âge peut ainsi être très précis mais peu fiable car incertain quant au phénomène qui en est la cause. Le géochronologue doit parfois constater qu'il ne peut trancher entre plusieurs hypothèses, et son choix peut être guidé par des faits strictement géologiques, dont il déduit un âge « géologiquement le plus probable ».

La compilation réalisée nous a montré une très grande diversité d'interprétations, souvent évolutives dans la mesure où la communauté scientifique acquiert, au fil du temps, une connaissance de plus en plus précise des possibilités et limites d'une méthode. Néanmoins, malgré la difficulté de la tâche, il était indispensable d'affecter à chaque âge une signification.

Nous avons fait le choix de reproduire les interprétations proposées par les auteurs, telles qu'ils les déduisent de leurs données analytiques, et en faisant abstraction des considérations strictement géologiques. En fonction des situations rencontrées un lexique à deux niveaux a été établi qui est reproduit dans le tableau 3.

Au premier niveau sont distingués cinq cas correspondant : (1) à trois groupes d'événements bien contraints, (2) un groupe « mal contraint » incluant des âges peu utilisables, et (3) un groupe « autre » correspondant à des événements de nature peu précise. Le pourcentage de chaque type d'âge dans le corpus total est indiqué dans le tableau 3.

SIGNIFICATION_1	SIGNIFICATION_2	Nb_1	%	Nb_2	%
Magmatisme	Pluton	482	31.3 %	351	22.81 %
	Filon			84	5.46 %
	Émission			47	3.05 %
Héritage	Héritage	240	15.6 %	21	1.36 %
	Héritage magmatique			129	8.38 %
	Héritage métamorphique			32	2.08 %
Métamorphisme	Héritage sédimentaire			58	3.77 %
	Métamorphisme	118	7.7 %	37	2.40 %
	Migmatisation			23	1.49 %
	Métamorphisme prograde			25	1.62 %
Mal contraint	Métamorphisme rétrograde			29	1.88 %
	Métamorphisme de contact			4	0.26 %
	Mal contraint	576	37.4 %	517	33.59 %
	Pas d'information			9	0.58 %
	Géologiquement incohérent			1	0.06 %
	Émission ?			8	0.52 %
	Héritage ?			2	0.13 %
Autre	Héritage magmatique ?			11	0.71 %
	Métamorphisme ?			8	0.52 %
	Métamorphisme prograde ?			4	0.26 %
	Pluton ?			16	1.04 %
	Contamination	123	8.0 %	12	0.78 %
	Rajeunissement			19	1.23 %
	Rajeunissement métamorphique			12	0.78 %
	Refroidissement			39	2.53 %
Refroidissement post-magmatique			25	1.62 %	
Refroidissement post-métamorphique			16	1.04 %	

Tableau 3 - Description du lexique « Signification » et inventaire du nombre d'âges par catégorie aux niveaux 1 et 2.

Table 3 - Description of the lexicon used for the normalization of the interpretation of the ages compiled (« Signification » lexicon). This lexicon is hierarchized according to two levels detailed in the two-first columns. The following columns give the numbers and percentages of ages corresponding to a given situation of the first (Nb_1 and %) or second (Nb_2 and %) categories.

Âges de signification bien contrainte

Le terme « bien contraint » porte ici uniquement sur la signification, il qualifie l'adéquation de l'âge, indépendamment de sa précision, à dater un type d'événement connu. Parmi les âges de signification bien contrainte, nous distinguons ceux portant sur des

événements magmatiques, ceux indiquant un phénomène d'héritage et ceux portant sur des événements métamorphiques. Au total, ils constituent plus de la moitié du corpus (~ 55 %).

Un événement **magmatique** peut être enregistré par une roche volcanique, filonienne ou plutonique, respectivement désignées « émission », « filon » et « pluton ». Notons que dans le cas d'un pluton, un certain laps de temps peut s'écouler entre la mise en place dans la croûte et la cristallisation tandis, que pour une lave (et généralement un filon), la cristallisation est quasi-instantanée.

Les âges de magmatisme constituent environ le 1/3 du total avec une très nette prédominance du plutonisme.

Les âges **d'héritage** ont en commun de fixer une borne inférieure pour l'événement à l'origine de la roche étudiée, mais il est parfois impossible d'en déterminer l'origine exacte, d'où un type « héritage » au sens large. Les termes d'héritage magmatique et d'héritage métamorphique s'appliquent à des âges généralement obtenus sur des roches magmatiques et dont les auteurs considèrent qu'ils correspondent à des phénomènes magmatiques ou métamorphiques antérieurs. Le terme d'héritage sédimentaire s'applique à l'ensemble des âges obtenus sur des constituants de roches sédimentaires et qui correspondent à des événements antérieurs à la sédimentation. Le cas le plus fréquent est celui des zircons remaniés dont la source est nécessairement plus ancienne que le sédiment dans lequel ils se trouvent intégrés. Ce type est sans doute le plus intéressant et le plus facile d'interprétation mais, singulièrement, il reste encore assez peu utilisé dans les terrains armoricains (3,8 % du total correspondant à moins de 10 entités géologiques).

Les âges de **métamorphisme** sont des âges obtenus sur des roches (et minéraux) métamorphiques. Leur interprétation est souvent délicate et le nombre d'âges significatifs est encore limité (7,7 % du total). Pour certains, ils sont attribués au métamorphisme, sans plus de précision quant au moment de leur cristallisation. En revanche, la migmatisation est souvent bien datée, principalement par l'analyse de zircons et/ou monazites extraits de leucosomes. En fonction des minéraux analysés, un âge peut dater une phase prograde ou rétrograde. Enfin, quelques âges de métamorphismes de contact ont été compilés, qui datent aussi l'intrusion des plutons qui en sont la cause.

Âges de signification mal contrainte

Cette catégorie regroupe des âges d'interprétation équivoque ou hypothétique. Au total elle comprend 576 âges, soit plus d'1/3 des données dont on peut considérer qu'elles sont peu utilisables.

Parmi les âges équivoques, de loin les plus fréquents (33,6 % du total), figurent des âges modèles ou des âges sur minéraux issus de travaux anciens et auxquels les données disponibles ne permettent pas d'attribuer une signification géologique précise. Parmi ces données

anciennes, de nombreux âges isochrones Rb-Sr sur roche totale, bien qu'analytiquement fiables, s'avèrent contradictoires par rapport aux âges U-Pb modernes. Ceci s'observe fréquemment pour des ensembles métaplutoniques (ex. massifs d'orthogneiss) ou métavolcaniques (ex. formations de type leptynite) et peut s'expliquer par le caractère très mobile de Rb (et dans une moindre mesure Sr). Même précis, de tels âges sont classés « mal contraints » car non attribuables à un événement géologique particulier. La datation Rb-Sr par isochrone sur roche totale n'est d'ailleurs quasiment plus utilisée, et petit à petit, de tels âges, même précis, sont substitués par des âges U-Pb ou U-Th-Pb. De façon générale, les datations « modernes » ont fortement atténué la pertinence d'un corpus de données ancien portant sur les mêmes objets, et parfois entachés d'une plus forte incertitude.

Les âges hypothétiques sont affectés d'un « ? » et représentent environ 3 % du total. Ils couvrent des situations assez diverses qu'il ne nous semble pas utile de détailler. Il semble préférable de ne pas en tenir compte.

Enfin, la désignation de « géologiquement incohérent » a été attribuée à un âge unique et isolé, situant au Paléozoïque la mise en place d'une formation de Bretagne nord d'âge briovérien bien contraint (formation de Binic).

Âges « autres »

Ce type représente 8 % du total. Il correspond essentiellement à des âges attribués à des phénomènes dits de « rajeunissement » ou « refroidissement », qui traduisent un rééquilibrage post-magmatique ou post-métamorphique des systèmes isotopiques dont la cause exacte est plus ou moins bien cernée.

Notons enfin, à titre d'anecdote, quelques âges attribués à un processus de contamination de filons par leur encaissant. Cette contamination est à l'origine d'une dérive de l'âge qui est sans signification géologique, et donc inexploitable.

3.6. Référencement géographique et nomenclature géologique

Coordonnées géographiques

Idéalement, le référencement géographique consiste à affecter à un âge les coordonnées géographiques de l'échantillon à partir duquel cet âge a été obtenu. Grâce au GPS, cette tâche s'est énormément simplifiée. Pour les travaux antérieurs, les modes de localisation et leur expression dans les œuvres scientifiques sont très variés, d'où une précision géographique très variable.

Parmi les modes de localisation les plus fréquemment employés figurent : (1) le report des points d'analyse sur une carte d'échantillonnage, (2) l'indication manuscrite du lieu d'échantillonnage (ex. Carrière de XX, près du bourg de YY). Dans les deux cas, la détermination de coordonnées X-Y exploitables (c'est-à-dire exprimées dans un système de projection unique et validé) impose que l'information soit

retranscrite sur un fond topographique au système de projection bien connu. Selon la précision de la carte d'échantillonnage, les coordonnées calculées seront, au mieux, parfaitement quantitatives et, au pire, totalement approximatives.

Dans certains cas, en guise de localisation, la seule information donnée est un nom d'entité géologique, selon une nomenclature « d'usage » non formalisée dans une charte lithostratigraphique officielle. Dans ce cas, le référencement ne pourra se faire qu'en attachant arbitrairement la datation à un point situé dans la formation en question, sous réserve que celle-ci soit identifiable sur la carte géologique.

De fait, au-delà du strict référencement géographique, l'essentiel est qu'il permette d'affecter l'âge obtenu à la bonne formation, une fois projeté sur la carte géologique. Pour le calcul des coordonnées géographiques, nous avons donc systématiquement calé les points d'échantillonnage sur le fond cartographique au 1/50 000, assurant ainsi la cohérence entre les informations géographique et géologique.

Dans un premier temps, les informations sur le mode de détermination des coordonnées géographiques ont été saisies en texte libre avec appréciation « au jugé » de leur précision. Dans la base finale, cette information a été reprise pour être structurée selon un lexique à deux niveaux reproduit dans le Tableau 4.

LOCALISATION_1	LOCALISATION_2	Nb_niveau_1	%_niveau_1	Nb_niveau_2	%_niveau_2
Exacte	Valeurs numériques	195	12,68 %	162	10,53 %
	Carte d'échantillonnage			33	2,15 %
Précise	Carte d'échantillonnage	411	26,72 %	212	13,78 %
	Indications écrites			199	12,94 %
Approximative	Carte d'échantillonnage	502	32,64 %	361	23,47 %
	Indications écrites			141	9,17 %
Arbitraire	Toponyme formation sur carte 1/50 000	430	27,96 %	181	11,77 %
	Dans formation sur carte 1/50 000			5	0,33 %
	Dans formation sur carte 1/250 000			244	15,86 %

Tableau 4 - Description du lexique « localisation » et quantité en nombre et % des différentes catégories et sous-catégories.

Table 4 - Description of the lexicon used for characterizing the mode and degree of precision in the geographical localisation of the dated samples.

Le niveau_1 exprime la précision du référencement : (1) **exacte** pour une valeur mesurée au GPS ou d'après une carte d'échantillonnage au 1/25 000 ; (2) **précise**, soit un positionnement à ~ +/- 50 à 100 mètres près pour une information issue d'une carte d'échantillonnage de plus petite échelle ou d'indications manuscrites ; (3) **approximative** pour des informations (carte ou indications manuscrites) permettant un positionnement à +/- 100 ou 300 mètres et dans ce cas, un calage sur le fond géologique au 1/50 000 a été utilisé pour assurer sa cohérence géologique ; (4) **arbitraire** lorsque le point d'échantillonnage a été déterminé de façon totalement arbitraire par calage sur le fond géologique à 1/50 000 ou 1/250 000. Souvent, ce point arbitraire a été choisi dans la localité toponyme de la formation (ex. au niveau de la mairie de ZZ pour le granite du même nom).

Au total, 430 âges (soit 28 % du total) ont dû être référencés de façon arbitraire, mais il s'agit souvent de données anciennes que leur qualité situe dans le type « mal contraint » du lexique précédent.

Le pourcentage d'âges localisés de façon exacte n'est que de 12,68 %, ce qui traduit l'importance encore prédominante du corpus de données acquises antérieurement à la systématisation du GPS.

Un cas particulier doit également être mentionné portant sur les âges isochrones obtenus par la méthode Rb-Sr. Quand elles étaient déterminables de façon suffisamment précises, les coordonnées des échantillons utilisés pour le traçage de l'isochrone ont été intégralement saisies, dont il découle la répétition du même âge dans des sites différents d'une entité géologique unique. Pour des traitements statistiques, il convient de tenir compte de ce biais possible : un seul âge est effectivement à conserver pour une telle série d'échantillons.

Les valeurs de coordonnées géographiques sont données dans des expressions purement numériques : (1) en degrés décimaux dans le système WGS84 ; (2) en mètres dans le système RGF93, zone Lambert II.

Nomenclature géologique

Comme mentionné plus haut, une attribution géologique exacte est indispensable et les coordonnées géographiques ont pour intérêt essentiel de permettre cette attribution par projection du point d'échantillonnage sur un fond géologique.

Affecter un nom à une entité géologique suppose l'établissement d'un référentiel lithostratigraphique. Pour le socle du Massif armoricain, la tâche est énorme, du fait du nombre considérable d'entités géologiques révélées par les programmes successifs de levés cartographiques (1/80 000 puis 1/50 000). Une synthèse a été réalisée par J. Chantraine, F. Béchenec et D. Rabu à l'échelle 1/250 000 qui est malheureusement restée non publiée. Cette synthèse décline la lithostratigraphie armoricaine en plusieurs niveaux dont le premier est celui du « domaine ». Chaque domaine représente une aire de croûte continentale ayant eu sa propre évolution lors des cycles cadomien et/ou

varisque, dont découlent une succession lithostratigraphique et une évolution tectono-métamorphique spécifiques. L'amalgamation de ces différents domaines est souvent intervenue à un stade tardif de l'orogénèse hercynienne, par le fonctionnement de grands accidents principalement décrochants dont certains pourraient jaloner des zones de suture majeures. Ces domaines, au nombre de 11, sont représentés sur la Figure 1.



Fig. 1 - Domaines géologiques du Massif armoricain tels que définis par J. Chantraine *et al.* (non publié).

Fig. 1 - Geological domains in the Armorican Massif as defined by J. Chantraine *et al.* (unpublished).

Au sein de chaque domaine, un certain nombre d'entités sont distinguées, qui souvent regroupent des unités cartographiées à l'échelle du 1/50 000 et ayant pu faire l'objet de datations. Ce référentiel est donc insuffisamment détaillé pour restituer la diversité lithostratigraphique issue des levés au 1/50 000. Néanmoins, il a l'avantage de couvrir de façon exhaustive la géologie du socle armoricain. Il a donc été utilisé « tel que » pour la désignation des unités datées auxquelles sont ainsi affectés un nom de domaine et un nom d'entité. Nous avons complété cette nomenclature par un nom « courant » qui correspond à l'appellation classiquement admise pour l'unité géologique, qui n'est pas nécessairement celle utilisée sur toutes les cartes au 1/50 000 incluant cette unité.

L'exemple du Granite de Ploemeur en est donné ci-dessous :

DOMAINE_250000	ENTITE_250000	ENTITE_COURANT
Domaine sud-armoricain breton (Quimper-Vannes)	Massifs de Pont-l'Abbé, Ploemeur, Quiberon et Guérande	Granite de Ploemeur

Ce massif, bien qu'ayant sa propre identité lithostratigraphique, est regroupé avec les massifs de Pont-L'Abbé, Quiberon et Guérande sur le 1/250 000.

Les noms « courants » ont été affectés au fil de la saisie en veillant à ce qu'un nom unique soit utilisé pour une unité donnée. Une liste de nom s'est ainsi constituée susceptible de s'agrandir au fil de la saisie de nouveaux âges.

4. Discussion : emprise du corpus actuel et manques les plus évidents

Cette partie plus prospective de notre travail est illustrée par un certain nombre de cartes dérivées d'une « jointure » opérée entre la compilation géochronologique et la synthèse au 1/250 000 (Chantraine *et al.*, non publié). Cette synthèse est malheureusement restée non publiée, aussi les figures présentées dans la suite de l'article doivent-elles être considérées comme purement informatives. Aucun document n'est malheureusement disponible à ce jour qui permette d'articuler la base de données sur un fond cartographique validé et public couvrant l'ensemble du massif armoricain.

Afin de faire un bilan de la connaissance strictement radiochronologique et, en particulier, de mettre en évidence les lacunes les plus évidentes au sein du bâti armoricain, il convenait d'écarter les entités datées par biostratigraphie, ce qui correspond à la quasi-totalité des formations sédimentaires armoricaines rapportées au Paléozoïque. Il peut également s'agir de formations volcaniques si les relations observées sur le terrain entre ces dernières et des roches sédimentaires datées permettent de leur attribuer un âge suffisamment précis (ex. coulées d'une formation volcanique interstratifiées avec des roches sédimentaires d'âge connu).

Ces formations stratigraphiquement datées (roches sédimentaires uniquement) sont représentées dans la fig. 2. Cette information est d'une précision variable selon la qualité des marqueurs biostratigraphiques ; le niveau de discrimination est rarement plus précis que l'époque ou le système. Parfois, le système lui-même n'est pas parfaitement contraint, par exemple lorsque l'âge est encadré stratigraphiquement mais pas établi directement (ex. formation située dans l'intervalle Ordovicien-Silurien).

Une fois sélectionné l'ensemble des formations datables par les seules méthodes radiochronologiques, l'investigation a porté sur la pertinence des datations disponibles, et en particulier, des âges relevant du type « mal contraint ». Considérant les exigences de précision requises par les modèles géologiques modernes, on peut supposer que de tels âges sont aujourd'hui d'un intérêt faible, voire nul. Comme l'illustre la fig. 3, il apparaît en fait que la grande majorité des entités du groupe « mal contraint » (576 données, cf. Tableau 2) ont fait l'objet d'analyses récentes précises oblitérant les données anciennes. L'inventaire réalisé (Tableau 5) montre que moins d'une trentaine de formations n'ont pas été redatées. Certaines mériteraient sans doute de l'être, en particulier parmi les ensembles lithostratigraphiques sur lesquels notre étude révèle un déficit de données précises (formations métavolcaniques ou métaplutoniques varisques en particulier) (cf. *infra*).

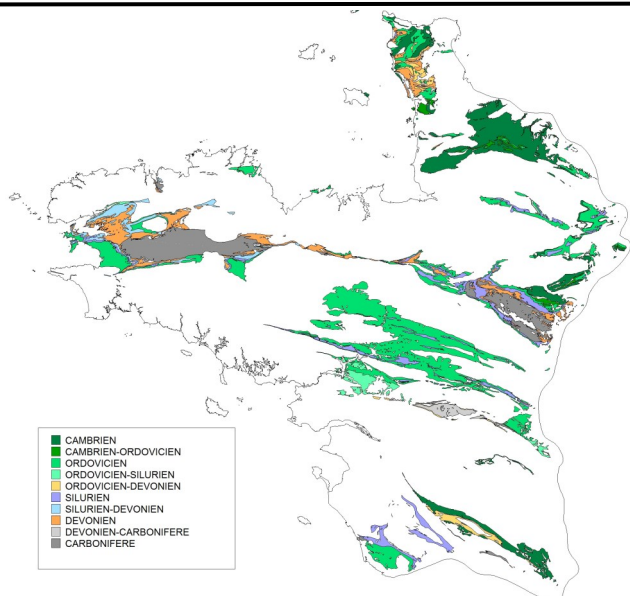


Fig. 2 - Cartographie et âge des formations du socle du Massif armoricain datées par biostratigraphie déduite de la synthèse au 1/250 000 réalisée par J. Chantraine *et al.* (non publié).

Fig. 2 - Cartography and age of the Armorican terrains dated by biostratigraphy according to the geological map at 1:250,000 scale compiled by J. Chantraine *et al.* (unpublished).

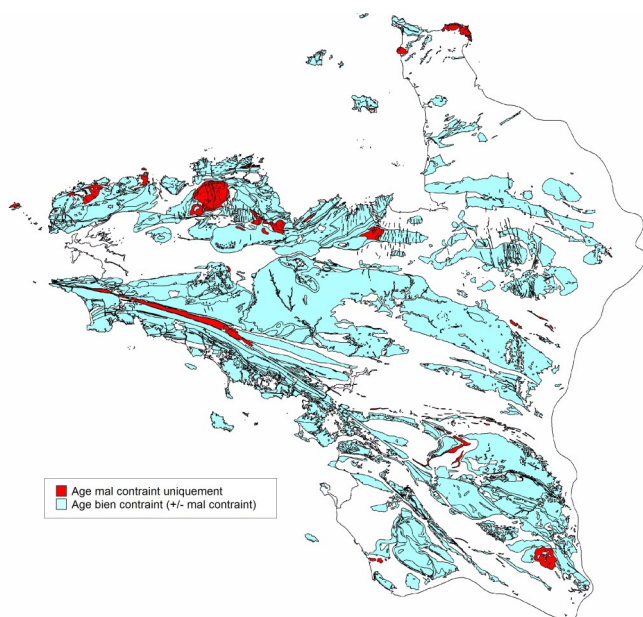


Fig. 3 - Carte montrant l'ensemble des formations du socle armoricain datées par radiochronologie avec, en bleu, celles sur lesquelles existent au moins une datation bien contrainte (ceci n'excluant pas la possibilité d'existence d'une ou plusieurs datations mal contrainte(s) d'où la mention « +/- mal contraint » ajoutée entre parenthèses), et en rouge, celles sur lesquelles n'existent que des âges mal contraints.

Fig. 3 - Map showing all the units of the Armorican basement dated by radiochronology. In blue, those carrying at least one well-constrained dating, and in red those with only weakly-constrained ages.

La fig. 4 synthétise l'information géochronologique de fiabilité suffisante. Trois représentations différentes (teintes et figurés) sont utilisées en fonction de la signification des

âges disponibles : (1) entités magmatiques aux âges de mises en place bien contraints par datations radiochronologiques (454 formations sont répertoriées) ; (2) entités de tous types aux âges d'héritage bien contraints (232 formations répertoriées) ; (3) entités de tous types aux âges de métamorphisme bien contraints (115 formations répertoriées). Pour être complet, les formations datées par biostratigraphie ont également été figurées par une teinte unique.

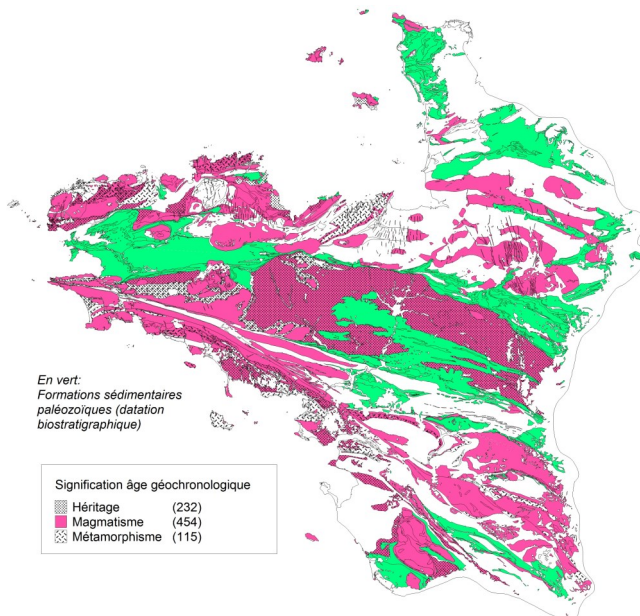


Fig. 4 - Carte synthétisant l'état des connaissances géochronologiques à fin 2015 sur le socle armoricain. Les formations sédimentaires dont l'âge est connu par biostratigraphie sont représentées en vert. Trois classes d'information radiochronologique ont été figurées, une formation pouvant cumuler des informations de plusieurs classes. Les formations d'origine magmatique (incluant les formations paléomagmatiques et orthodérivées) au magmatisme daté sont représentées par un à-plat rose. La trame finement ponctuée correspond aux formations sur lesquelles existe une information relative à l'héritage (quel qu'en soit le type). La trame guillochée correspond aux formations sur lesquelles existe une information relative au métamorphisme. Ces informations peuvent se superposer. On peut ainsi noter l'existence de formations orthométamorphiques dont le protolithe magmatique est bien daté (mise en place), comporte une composante héritée (trame fine) et dont l'âge de métamorphisme est également connu. Dans ce cas, les deux trames se superposent à l'à-plat rose.

Fig. 4 - Map showing the state of the art of the geochronological knowledge of the Armorican Massif at the end of 2015. The sedimentary terrains dated by biostratigraphy are colored in green. Three classes of mutually non-exclusive geochronological informations have been symbolized. The formations of magmatic origin (including paleomagmatic and meta-igneous rocks) with well-dated magmatic emplacement are colored in pink. The finely punctuated surfaces correspond to formations displaying precise inheritance ages. The roughly punctuated surfaces correspond to formations with precise ages of metamorphism. Informations may surimposed. For instance, some meta-igneous formations with a well-dated protolith (emplacement age), may also have well dated inherited and metamorphic components.

Pour une formation donnée, deux, voire trois catégories d'âges peuvent exister. Par exemple, une formation orthométamorphique peut cumuler un âge de magmatisme (mise en place), un ou plusieurs âges d'héritage (héritage magmatique) et un ou plusieurs âges de métamorphisme (prograde, rétrograde ...).

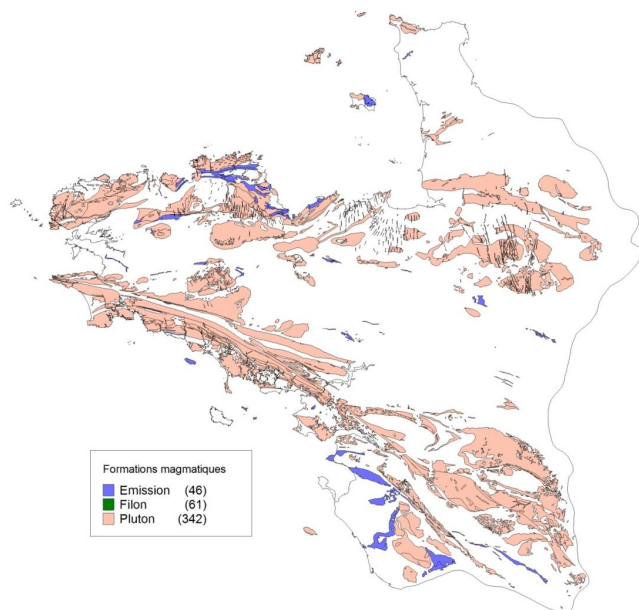


Fig. 5. Répartition des formations d'origine magmatique bien datées, avec distinction entre les entités de nature volcanique (« Emission »), filonienne (« Filon ») et plutonique (« Pluton »). Les occurrences filoniennes, peu visibles sur la présente version du document, apparaissent plus clairement par grossissement de la version numérique accessible sur le site <http://geolfrance.brgm.fr>.

Fig. 5. Localization of the well-dated formations of magmatic origin with distinction between the units of volcanic (blue color), hypabyssal (green color) and plutonic (pink color) origins. The hypabyssal occurrences, too narrow to be well localized in the present version, are rendered more visible by enlargement of the digital version of the figure accessible at the site <http://geolfrance.brgm.fr>.

Pour une roche donnée, la datation du magmatisme considérée comme âge de la cristallisation du magma (« mise en place »), est unique. La fig. 5 localise les entités magmatiques d'âge de mise en place bien contraint et les distingue selon leur mode de mise en place : (1) filon, (2) émission ou (3) pluton. Cette figure montre la grande abondance de datations sur roches plutoniques relativement à celles sur roches volcaniques ou filoniennes, conforme au fait que l'érosion affecte préférentiellement les premières du fait de leur localisation dans les parties supérieures de la croûte. Cette figure traduit également la très grande variété et le nombre considérable d'épisodes magmatiques dans l'histoire du massif armoricain.

Finalement, une analyse a été réalisée sur les formations non datées, qui nous permet d'évaluer les lacunes de la connaissance actuelle selon les classes de roches (Fig. 6). À première vue, les formations métasédimentaires représentent de loin la plus grande surface de terrains d'âge mal connu ou inconnu. C'est

également le cas en termes de nombre d'entités, avec 37 « formations » distinctes répertoriées. Néanmoins, certains de ces terrains sont assez bien calés de façon indirecte. Par exemple, les terrains d'âge briovérien de l'intérieur de la Normandie sont clairement antérieurs à ~ 540 Ma puisque recoupés et métamorphisés par les plutons du batholite mancellien d'âge néoproterozoïque supérieur à cambrien (~ 540-520 Ma).

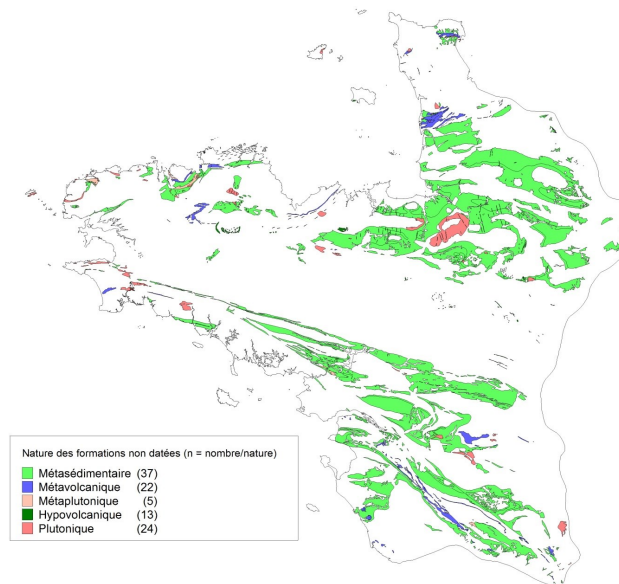


Fig. 6. Carte discriminant les unités (« formations ») non datées en fonction de leur nature.

Fig. 6. Map discriminating the undated units according to their lithology.

Plus au Sud, dans le domaine varisque, la lacune de connaissance porte principalement sur les terrains métamorphiques du domaine dit « interne », de nature schisteuse et schisto-gréseuse (*sensu lato*), et de degré de métamorphisme épi- à mésozonal. Un intervalle briovérien (néoproterozoïque supérieur) à ordovicien est souvent supposé (voir par exemple la représentation de ces terrains sur la dernière édition de la Carte de la France au 1:1 000 000 ; Chantaine *et al.*, 1996), qui indique notre impuissance à dire s'il s'agit de sédiments cadomiens ou varisques. Ceci était particulièrement le cas du gigantesque domaine schisteux de Bretagne centrale, mais les âges obtenus par C. Guerrot *et al.* (1990) sur des zircons hérités montrent qu'au moins une partie de ces sédiments est d'âge cambrien, c'est-à-dire post-cadomien (pré- ou éovarisque ?). Une datation plus systématique des zircons hérités dans les terrains du domaine interne varisque permettrait sans doute d'en reconstruire de façon plus précise l'histoire sédimentaire.

Enfin, les unités métavolcaniques du domaine interne varisque représentent un autre type de formation dont l'âge est encore très mal documenté. Parmi celles-ci, 22 sont d'âge totalement inconnu (Fig. 6). Cette lacune est regrettable dans la mesure où la plupart de ces entités, de type fréquemment basique ou bimodal, sont souvent considérées comme les témoins des zones de sutures varisques et par conséquent, très importantes pour la compréhension de cet orogène. Le perfectionnement des

méthodes de datation, particulièrement celles adaptées aux roches basiques, permettront sans doute de compléter cette lacune et de renforcer ainsi la crédibilité des modèles géodynamiques.

5. Conclusion

La connaissance géochronologique sur le Massif armoricain est d'ores et déjà très avancée, et l'impulsion donnée par le Programme de la carte géologique de la France au 1/50 000 à partir de la fin des années 80 fut l'un des vecteurs majeurs de cette avancée. Néanmoins, et alors que les levés pilotés par ce programme sont désormais achevés, des lacunes significatives subsistent qui rendent parfois douteuses la crédibilité des modèles géodynamiques. Dans l'optique d'une action future du programme du Référentiel Géologique de la France sur cette région, un bilan des lacunes les plus pénalisantes serait à faire, afin que soient programmés les travaux nécessaires, c'est-à-dire ciblés plutôt qu'exhaustifs.

Remerciements

Nous remercions Pierre Barbey et Pierre Nehlig dont les remarques et suggestions ont permis d'améliorer la version finale de cet article.

Ce travail a été réalisé dans le cadre des activités de service public du BRGM.

BIBLIOGRAPHIE

- Adams C.J.D.** (1967a) - A geochronological and related isotopic study of rocks from North Western France and the Channel (United Kingdom). Ph. Thesis, Oxford, 259 p.
- Adams C.J.D.** (1967b) - K/Ar ages from the basement complex of the Channel Islands (United Kingdom) and the adjacent French mainland. *Earth Planet. Lett.*, 2, 52-56.
- Adams C.J.D.** (1976) - Geochronology of the Channel Islands and adjacent French mainland. *J. Geol. Soc. London*, 132, 233-250.
- Andriamarofahatra J., De La Boisse H.** (1988) - Mise en évidence de témoins granitiques tardi-cadomiens à 540 Ma dans la région de Belle-Isle-en-Terre, Massif armoricain. *Bull. Soc. Géol. France*, IV, 2, 279-287.
- Augier R., Menier D., Van Vliet-Lanoë B., Chauris L., Thinon I., Mougouin B., Hallegouët B. avec la collaboration de Do Couto D., Turrillot P., Bellanger M., Goubert E., Perrot J., Gautier C.** (2011) - Notice explicative, carte géologique de la France (1/50 000), feuille Vannes - Saint-Gildas-de-Rhuys (417). Orléans, BRGM, 263 p.
- Autran A., Beurrier M., Calvez J.Y., Cocherie A., Fouillac A.M., Rossi Ph.** (1983) - Caractérisation des granitoïdes du batholite mancelien; implications métallogéniques. In : C.R. ATP CNRS Géochimie-Métallogénie, Bonas, 1983, 20-35."
- Autran A., Chantraine J., Rabu D.** (1979) - Lithostratigraphie et déformation du Briovérien de la Baie de Lannion. Implications sur les relations entre les cycles cadomien et hercynien. *Bull. BRGM*, 1, 1-4, 277-293,
- Auvray B.** (1979) - Genèse et évolution de la croûte continentale dans le nord du Massif Armoricain. Thèse Univ. Rennes, 681 p.
- Auvray B.** (1986) - Magmatismes dans le domaine domnonéen: l'exemple du Trégor. Excursion de la Société Géologique et Minéralogique de Bretagne, 28-29 juin 1986, 112 p.
- Auvray B., Charlot R., Vidal Ph.** (1980) - Données nouvelles sur le Protérozoïque inférieur du domaine nord-armoricain (France): âge et signification. *Can. J. Earth Sci.*, 17, 532-538.
- Auvray B., Mace J., Vidal Ph., Van der Woo R.** . Rb-Sr dating of the Plouézec volcanics, N Brittany: implications for the age of red beds ('Series rouges') in the northern Armorican Massif. *J. Geol. Soc.*, 137, 207-210.
- Ballèvre M., Capdevila R., Guerrot C., Peucat J.J.** (2002) - Discovery of an alkaline orthogneiss in the eclogite-bearing Cellier unit (Champoceaux Complex, Armorican Massif): a new witness of the Ordovician rifting. *C.R. Geosci.*, 334, 303-311.
- Ballèvre M., Fourcade S., Capdevila R., Peucat J.J., Cocherie A., Fanning C.M.** (2012) - Geochronology and geochemistry of Ordovician felsic volcanism in the Southern Armorican Massif (Variscan Belt, France): Implications for the breakup of Gondwana. *Gondwana Res.*, 21, 1019-1036.
- Ballouard C., Boulvais P., Poujol M., Gapais D., Yamato P., Tartèse R., Cuney M.** (2015) - Tectonic record, magmatic history and hydrothermal alteration in the Hercynian Guérande leucogranite, Armorican Massif, France. *Lithos*, 220-223, 1-22.
- Barboni M., Schoëne B., Ovtcharova M., Bussy F., Schaltegger U., Gerdes A.** (2013) - Timing of incremental pluton construction and magmatic activity in a back-arc setting revealed by ID-TIMS U/Pb and Hf isotopes on complex zircon grains. *Che. Geol.*, 342, 76-93.
- Barrière M., Cogné J., Vidal P.** (1971) - La trondhjémite de Douarnenez : une intrusion magmatique ordovicienne dans les schistes cristallins du Sud-Finistère. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 273, 1556-1559.
- Béchenec F., Chèvremont P., Bouton P., Karnay G., Stussi J.M., Thiéblemont D., avec la collaboration de Cocherie A., Roy C.** (2010) - Notice explicative, Carte géol. France (1/50 000), feuille Luçon (585) - Orléans, BRGM, 188 p.
- Béchenec F., Chèvremont P., Stussi J.M., Thiéblemont D., avec la collaboration de Cocherie A., Roy C.** (2008) - Notice explicative, Carte géol. France (1/50 000), feuille Le-Poiré-sur-Vie (561) - Orléans, BRGM, 180 p.
- Béchenec F., Hallegouët B. et Thiéblemont D. avec la collaboration de Guerrot C., Cocherie A., Carn A.** (1999) - Notice explicative, carte géologique de la France (1/50 000), feuille Quimper (346) - Orléans, BRGM, 161 p.
- Béchenec F., Hallegouët B. et Thiéblemont D., avec la collaboration de Guerrot C., Cocherie A., Carn A.** (2001) - Notice explicative, carte géologique de la France (1/50 000), feuille Rosporden (347). Orléans, BRGM, 121 p.
- Béchenec F., Hallegouët B., Thiéblemont D., Thinon I. avec la collaboration de Cocherie A., Guerrot C., Lucassou F.** (2012) - Notice explicative, carte géologique de la France (1/50 000), feuille Lorient (383). Orléans, BRGM, 206 p.
- Béchenec F., P. Guennoc, Guerrot C., Lebre P., Thiéblemont D. avec la collaboration de Carn A., Delanoë Y., Hallegouët B., Le Meur S., Monnier J.L., Morzadec H.** (1996) - Notice explicative, carte géologique de la France (1/50 000), feuille ConCarneau (382). Orléans, BRGM, 132 p.

- Béchenec F., Thiéblemont D., Audru J.C. avec la collaboration de Cocherie A., Corbier P.** (2006) - Notice explicative, carte géologique de la France (1/50 000), feuille Plouay (348). Orléans, BRGM, 110 p.
- Béchenec F., Thiéblemont D., avec la collaboration de Cocherie A., Lucassou F.** (2013) - Notice explicative, carte géologique de la France (1/50 000), feuille Elven (385). Orléans, BRGM, 135 p.
- Béchenec F., Thiéblemont D., avec la collaboration de Cocherie A., Mouglin B.** (2011) - Notice explicative, carte géologique de la France (1/50 000), feuille Bubry (349). Orléans, BRGM, 137 p.
- Béchenec F., Thiéblemont D., avec la collaboration de Guerrot C., Cocherie A., Lucassou F.** (2013) - Notice explicative, carte géologique de la France (1/50 000), feuille Baud (384). Orléans, BRGM, 143 p.
- Bellon H., Chauris L., Fabre A., Hallegouët B., Thonon P.** (1985) - Age du magmatisme fissural tardi-hercynien à l'extrémité occidentale du Massif armoricain (France). C. R. Acad. Sci. Paris, 301, 297-302.
- Bellon H., Chauris L., Hallegouët B., Thonon P.** (1988) - Magmatisme fissural permien et trisique dans le Pays de Léon (Massif armoricain, France). C. R. Acad. Sci. Paris, 307, 2049-2054.
- Bernard-Griffiths J., Peucat J.J., Sheppard S. et Vidal Ph.** (1985) - Petrogenesis of Hercynian leucogranites from the southern Armorican Massif: contribution of REE and isotopic (Sr, Nd, Pb, O) geochemical data to the study of source rock characteristics and ages. Earth and Planetary Sci. Letters, 74, 235-250,
- Bertrand J.M., Leterrier J., Cuney M., Brouand M., Stussi J.M., Delapierre E., Virlojeux D.** (2001) - Géochronologie U-Pb sur zircons de granitoïdes du Confolentais, du massif de Charroux-Civray (seuil du Poitou) et de Vendée. Géol. France, 1-2, 167-189.
- Bland A.M. (Inédit) in Brown M., Power G.M., Topley C.G., D'Lemos R.S.** (1990) - Cadomian magmatism in the North Armorican Massif. In : R.S. D'Lemos, R.A. Strachan, C.G. Topley (eds), The Cadomian Orogeny, Geol. Soc. Spec. Publ., 51, 181-213.
- Bonjour J.L., Peucat J.J., Chauvel J.J., Paris F., Cornichet J.** (1988) - U-Pb dating of the Early Paleozoic (Arenigian) transgression in Western Brittany (France): a new constraint for the Lower Paleozoic time-scale. Chem. Geol. (Isot. Geosc. Sect.), 72, 329-336.
- Bos P., Castaing C., Clément J., Chantraine J., Lemeille F., avec la collaboration de Billa M., Carn A., Bonjour J.L., Morzadec H.** (1997) - Notice explicative, Carte géol. France (1/50 000), feuille Rostrenen (312). Orléans : BRGM, 132 p.
- Bosse V., Féraud G., Ballèvre M., Peucat J.J., Corsini M.** (2005) - Rb-Sr and $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ ages in blueschists from the Ile de Groix (Armorican Massif, France): Implications for closure mechanisms in isotopic systems. Chem. Geol., 220, 21-45.
- Bosse V., Féraud G., Ruffet G., Ballèvre M., Peucat J.J., Koen De Jong G.** (2000) Late Devonian subduction and early-orogenic exhumation of eclogite-facies rocks from the Champtoceaux Complex (Variscan belt, France). Geol. J., 35, 297-325.
- Bouton P., Branger P.** (2007) - Notice explicative, Carte géol. France (1/50 000), feuille Coulonges-sur-l'Autize (587). Orléans, BRGM, 132 p.
- Brown M., Dallmeyer D.D.** (1996) - Rapid Variscan exhumation and the role of magma in core complex formation: Southern Brittany Metamorphic Belt, France. J. Metam. Geol., 14, 361-379.
- Brown M., Power G.M., Topley C.G., D'Lemos R.S.** (1990) - Cadomian magmatism in the North Armorican Massif. In: R.S. D'Lemos, R.A. Strachan, C.G. Topley (eds), The Cadomian Orogeny, Geol. Soc. Spec. Publ., 51, 181-213.
- Cabanis B., Michot J., Deutsch S.** (1977) - Remise en question de la datation géochronologique des Gneiss de Brest (Bretagne occidentale). C. R. Acad. Sci. Paris, 284, 883-886.
- Cabanis B., Peucat J.J., Michot J., Deutsch S.** (1979) - Remise en cause de l'existence d'un socle orthogneissique antécambrien dans le Pays de Léon (domaine nord-armoricain); étude géochronologique par les méthodes Rb/Sr et U/Pb des Orthogneiss de Tréglonou et de Plounévez-Lochrist. Bull. BRGM, 1, 4, 357-364,"
- Calvez J.Y., Vidal Ph.** (1978) - Two billion years old relicts in the Hercynian Belt of Western Europe. Contrib. Mineral. Petrol., 65, 395-399.
- Caroff M., Bellon H., Chauris L., Carron J.P., Chevrier S., Gardinier A., Cotten J., Le Moan Y., Neidhart Y.** (1995) - Magmatisme fissural triasico-liasique dans l'ouest du Massif armoricain (France): pétrologie, géochimie, âge et modalités de la mise en place. Can. J. Earth Sci., 32, 1921-1936.
- Carpenter M.S.N., Civetta L.** (1976) - Hercynian high pressure/low temperature metamorphism in the Ile de Groix. Nature, 262, 276-277.

- Carpenter M.S.N., Peucat J.J., Pivette B.** (1982) - Geochemical and geochronological characteristics of Palaeozoic volcanism in the Saint-Georges-sur-Loire synclinorium (S. Armorican Massif). Evidence for Pre-hercynian tectonic evolution. Bull. BRGM, 1, 1-2, 63-79.
- Castaing Ch., Beurrier M., Calvez J.Y., Chèvremont P., Clozier L., Darboux J.R., Garreau J., Guigues J., Herrouin Y., Le Goffic M., Monot B., Pelhate A., Rolet J., Thonon P.** (1988) - Notice explicative de la feuille Huelgoat à 1/50 000. BRGM : Orléans, 62 p.
- Chambaudet A., Mars M., Peucat J.J., Rebetez M.** (1984) - Radiometric dating and cooling history in the Northern Armorican Massif. 4th International Workshop in Fission Tracks dating, New York.
- Chantraine J., Autran A., Cavelier C.** (1996). Carte géologique de la France à l'échelle du millionième, 6^{ème} édition. Orléans : BRGM.
- Chantraine J., Chauris L., Cabanis B., Chauris M.M., Larsonneur C., Herrouin Y., Rabu D., Luzac Y. et Bos P.** (1986) - Notice explicative de la feuille Plestin-les Grèves à 1/50 000. BRGM : Orléans, 84 p.
- Chauris L., Hallegouët B., Thonon P., Vidal Ph.** (1977) - Le champ filonien microgranitique du Bas-Léon (Massif armoricain). Bull. Soc. Geol. Mineral. Bretagne, IX, 1, 5-17.
- Chauris L., Marcoux E., Le Goff E., Thiéblemont D. et Carn A.** (1998) - Notice explicative de la feuille Saint-Pol-de-Léon à 1/50 000. BRGM : Orléans, 167 p.
- Cocherie A.** (2002). Datation U-Th-Pb sur monazite: migmatite de Champtoceaux (47-17A). Note ANA/ISO 01 /2002 AC/ JDLH, 4 p.
- Cocherie A.** (2003) - Datation des granitoïdes de Carnac et Ste Anne d'Auray: apport conjoint des méthodes U-Pb (SHRIMP) sur zircon et U-Th-Pb (MSE) sur monazite. BRGM, note ANA/ISO-NT/2003/011, 12 p.
- Cocherie A.** (2003) - Datation des granitoïdes du Massif armoricain : apport conjoint des méthodes U-Pb (SHRIMP) sur zircon et U-Th-Pb (MSE) sur monazite. Note technique : ANA/ISO-NT/2003/013, 17 p. BRGM, Orléans.
- Cocherie A.** (2004) - Datation de granitoïdes du Massif Armoricain (feuille Lorient, carte 1/50 000): U-Th-Pb (MSE) sur monazite. Note ANA/ISO-225/2004, 24 p.
- Cocherie A.** (2004) - Datation U-Pb (SHRIMP) sur zircon (granite d'Ergué, projet carte 1/50000) - Note MMA/ISO-2004/225b, 7 p.
- Cocherie A.** (2005) - Datation U-Th-Pb sur monazites de Vendée. Note MMA/ISO-244/2005, 9 p.
- Cocherie A.** (2005) - Datations U-Pb sur zircon à l'aide de la SHRIMP et U-Th-Pb sur monazite du granite des Mauges. Etude N° 42 (V. Bouchot) le 25 novembre 2005. Note BRGM.
- Cocherie A.** (2006) - Datations U-Pb sur zircons à l'aide du couplage laser-MC-ICPMS (Neptune) - Massif Armoricain-Vendée. Étude N° 240 (Ph. Rossi) - Note interne BRGM, le 5 avril 2006, 6 p.
- Cocherie A.** (2006) - Datations U-Th-Pb sur monazites (MSE) PV8C04. BRGM, note MMA/ISO-261/2006, 6 p.
- Cocherie A.** (2007) - Datations U-Pb (laser-ICPMS-MS) sur zircons de Vendée (projet Carte 50 000) - BRGM, Note MMA/ISO-2007/259, 20 p.
- Cocherie A.** (2007) - Datations U-Pb (laser-ICPMS-MS) sur zircons de Vendée (FB0007, projet Carte 50 000) - BRGM, Note MMA/ISO-2007/271a, 11 p.
- Cocherie A.** (2007) - Datations U-Pb (laser-ICPMS-MS) sur zircon et U-Th-Pb sur monazite du granite de Vendée (PL7B33) - BRGM, Rapport d'essais 2007-290, 15 p.
- Cocherie A.** (2007) - Datations U-Pb (laser-ICPMS-MC) sur zircon (LOUD-C et LOUD-D), U-Th-Pb sur monazite (LOUD-C et LOUD-D) et U-Th-Pb sur thorianite (LOUD-C) - Rapport d'essais : 2007/280, BRGM, 24 p.
- Cocherie A.** (2008) - Datation U-Pb (SHRIMP) sur zircons ; projet carte 1/50 000, Luçon. BRGM, note MMA/ISO-2008/312, 8 p.
- Cocherie A.** (2008) - Datations U-Th-Pb (MSE) sur monazites ; projet carte 1/50 000, Luçon. BRGM, note MMA/ISO-312-317/2008, 13 p.
- Cocherie A.** (2008) - Datations U-Th-Pb sur monazites (MSE) ; projet carte 1/50 000. BRGM, note MMA/ISO-322/2008, 8 p.
- Cocherie A.** (2008) - Datations U-Th-Pb sur monazites (MSE) ; projet carte 1/50 000, Moncoutant. BRGM, note MMA/ISO-298/2008, 12 p.
- Cocherie A.** (2009) - Datations U-Pb (SHRIMP) sur zircons : projet Carte 1/50 000, Luçon. BRGM, Étude 09-1-130-A, 17 p.

- Cocherie A.** (2009) - Datations U-Pb (SHRIMP) sur zircons : projet Carte 1/50 000, Moncutant. BRGM, Étude 09-1-027-Z, 13 p.
- Cocherie A.** (2009) - Datations U-Th-Pb sur monazites (MSE) ; projet carte 1/50 000. BRGM, note MMA/ISO-232/2009, 10 p.
- Cocherie A.** (2010) - Datations U-Pb (laser-ICPMS-MS) sur zircons (Moncutant et Polynésie) (projet Carte 1/50 000) - BRGM, Rapport d'essais 10-1-037-j, 18 p.
- Cocherie A.** (2010) - Datations U-Pb (laser-ICPMS-MS) sur zircon (projet Carte 1/50 000) - BRGM, Rapport d'essais 10-1-037-BG, 13 p.
- Cocherie A.** (2010) - Datations U-Pb (laser-ICPMS-MS) sur zircons et monazites (projet Carte 1/50 000) - BRGM, Rapport d'essais 10-1-037-AX, 15 p.
- Cocherie A.** (2010) - Datations U-Pb (laser-ICPMS-MS) sur zircons et monazites (projet Carte 1/50 000) - BRGM, Rapport d'essais 10-1-037-BF, 11 p.
- Cocherie A.** (2010) - Datation U-Pb (laser-ICPMS-MC) sur zircon (projet carte 1/50 000) - Rapport d'essais 10-1-037-AZ, BRGM, 9 p.
- Cocherie A.** (2011) - Datations U-Pb (laser-ICPMS-MS) sur zircon (projet Carte 1/50 000) - BRGM, Rapport d'essais, 9 p.
- Cocherie A.** (2011) - Datations U-Pb (laser-ICPMS-MC) sur zircons et U-Th-Pb sur monazites (MSE) (projet carte 1/50 000) - Rapport d'essai, ISO (2011/336), BRGM, 18 p.
- Cocherie A., Chantraine J., Fanning C.M., Dabard M.P., Paris F., Le Hérissé A., Egal E.** (2001) - Datation U/Pb: âge briovérien de la série d'Erquy (Massif armoricain, France). C. R. Acad. Sci. Paris, 333, 427-434.
- Cuney M., Stussi J.M., Brouand M., Dautel D., Michard A., Gros Y., Poncet D., Bouton P., Colchen M., Vervialle J.P.** (1993) - Géochimie et géochronologie U/Pb des diorites quartziques du Tallud et de Moncutant: nouveaux arguments pour une extension de la Ligne Tonalitique Limousine[™] en Vendée. C. R. Acad. Sci. Paris, 316, 1383-1390.
- Cuney M., Stussi J.M., Brouand M., Dautel D., Michard A., Gros Y., Poncet D., Bouton P., Colchen M., Vervialle J.P.** Géochimie et géochronologie de Neuvy-Bouin (Haut-Bocage vendéen): un exemple de corps plutonique polyphasé. C. R. Acad. Sci. Paris, 317, 219-226.
- Dallmeyer R.D., D'Lemos R.S., Strachan R.A.** (1992) - Timing of post-tectonic magmatism on Guernsey, Channel Islands: evidence from 40Ar/39Ar mineral ages. J. Geol. Soc. London, 149, 139-147.
- Dallmeyer R.D., Brown M., D'Lemos R.S., Strachan R.A.** (1993) - Variable Variscan thermal rejuvenation in the St Malo region, Cadomian Orogen, France: evidence from 40Ar/39Ar mineral ages. J. Metam. Geol., 11, 137-154.
- Dallmeyer R.D., D'Lemos R.S., Strachan R.A., Mueller P.A.** (1991) - Tectonothermal chronology of early Cadomian arc development in Guernsey and Sark, Channel Islands. J. Geol. Soc. London, 148, 691-702.
- Dallmeyer R.D., D'Lemos R.S., Strachan R.A.** (1994) - Timing of Cadomian and Variscan tectonothermal activity, La Hague and Alderney, North Armorican Massif: evidence from 40Ar/39Ar mineral ages. Geol. J., 29, 29-44.
- Dallmeyer R.D., Strachan R.A., D'Lemos R.S.** (1991) - Chronology of Cadomian tectonothermal activity in the baie de Saint-Brieuc (north Brittany, France): evidence from 40Ar/39Ar mineral ages. Can. J. Earth Sci., 28, 762-773.
- Darboux J.R., Marcoux E., Hallegouët B., Lebreton P., Thomas E., Bourdillon C., Margerel J.P., Blanchet S., Carn A.** (2010) - Notice explicative de la feuille Landerneau à 1/50 000. BRGM : Orléans, 146 p.
- De Brémond D'Ars J.** (1990) - Estimation des propriétés rhéologiques des magmas par l'étude des instabilités gravitaires. Mém. CAESS Rennes, 35, 312 p.
- Deutsch S. et Chauris L.** Âge de quelques formations cristallophylliennes et granitiques du Pays de Léon (Finistère). C. R. Acad. Sci. Paris, 1965, t.260, 615-617.
- Diot H. et al.** (en préparation) - Notice explicative de la carte géologique de l'île d'Yeu.
- Diot H., Femenias O., Moreau C., Gauffriau A., Roy Cl., Karnay G. avec la collaboration de Ménard J.J., Jourdain T., Pons L., Poupin B., Conan Y., Maillard A., Dupin L., Jousseume S., Guilbaud M.N., Blais A.** (2007) - Notice explicative, carte géologique de la France (1/50 000), feuille Fontenay-le-Comte (417). Orléans : BRGM, 96 p.
- D'Lemos R.S.** (1987) - The evolution of the Northern Igneous Complex of Guernsey, Channel Islands - some isotopic evidence. Read at the Annual Conf. Ussher Soc., 498-501.

- D'Lemos R.S., Dallmeyer R.D., Strachan R.A.** (1992) - $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of plutonic rocks from Jersey, Channel Islands. Read at the Annual Conf. Ussher Soc., 50-53.
- D'Lemos R.S., Miller B.V., Samson S.D.** (2001) - Precise U-Pb zircon ages from Alderney, Channel Islands: growing evidence for discrete Neoproterozoic magmatic episodes in northern Cadomia. *Geol. Mag.*, 138, 719-726.
- Dondin F.** (2004) - Mesure de la durée de mise en place du complexe plutonique de Ploumanac'h (Bretagne, France) par la méthode $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$. *Mém. DEA, Univ. Rennes 1*.
- Dubois C.** (2014) - Durée de construction, refroidissement et exhumation de l'intrusion composite de Ploumanac'h (Massif armoricain) : contraintes géochronologiques et thermochronologiques. *Mém. Master 2, Univ. Rennes*.
- Ducassou C., Poujol M., Hallot E., Bruguier O., Ballèvre M.** (2011) - Petrology and geochronology of the high-K calc-alkaline Mésanger magmatism (Armorican massif, France): a ca. 320 Ma old volcano-plutonic association. *Bull. Soc. Géol. France*, 182, 6, 467-477.
- Duff B.A.** (1978) - Rb-Sr whole-rock age determination of the Jersey Andesite Formation, Jersey, C.I. *J. Geol. Soc. London*, 1978, 135, 153-156.
- Egal E., Le Goff E., Lebreton P.** (1999) - Notice explicative, carte géologique de la France (1/50 000), feuille Guingamp(242). Orléans : BRGM, 148 p.
- Egal E., Thiéblemont D., Thomas E., Guennoc P., Hallegouët B.** (2005) - Notice explicative, Carte géol. France (1/50 000), feuille Saint-Brieuc (243). Orléans : BRGM, 221 p.
- Egal E., Hallegouët B., Le Goff E., Schroetter J.M., Mougin B., Cocherie A., Langouët L., Monnier J.L., Théveniaut H., Thiéblemont D., Thomas E.** (2011) - Notice explicative, Carte géologique de la France (1/50 000), feuille Dinan (245). Orléans : BRGM, 196 p.
- Egal E., Guerrot C., Le Goff E., Thiéblemont D. et Chantraine J.** (1996) - **The Cadomian Orogeny revisited in Northern Brittany (France).** In : **R.D. Nance R.D., M.D. Thomson (eds)**, Avalonian and Related Peri-Gondwanan Terranes of the Circum-North Atlantic. *Geol. Soc. Amer. Spec. Paper*, 304, 281-318.
- El Korh A., Schmidt S.T., Ballèvre M., Bruguier O.** (2012) - Discovery of an albite gneiss from the Ile de Groix (Armorican Massif, France): geochemistry and LA-ICP-MS U-Pb geochronology of its Ordovician protolith. *Int. J. Earth Sci.*, 101, 1169-1190.
- Faure M., Sommers C., Melleton J., Cocherie A., Lautout O.** (2010) - The Léon Domain (French Massif Armoricain): a westward extension of the Mid-German Crystalline Rise? Structural and geochronological insights. *Int. J. Earth Sci.*, 99, 65-81.
- Fernandez-Suarez J., Gutierrez Alonso G., Jeffries T.E.** (2002) - The importance of along-margin terrane transport in northern Gondwana: insights from detrital zircon parentage in Neoproterozoic rocks from Iberia and Brittany. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 204, 75-88.
- Fouillac A.M., Cocherie A., Rossi Ph., Calvez J.Y., Autran A.** (1986) - Etude géochimique du batholite mancelien (Massif armoricain). Rapport BRGM, 86 DT 0.37 MGA, 15 p.
- Geldron A.** (1987) - Genèse et contexte magmatique des stockworks à molybdénite de la chaîne hercynienne française: étude comparative des gisements à Mo-W de Breitenbach (Bas-Rhin), à Mo-Cu de Beauvain (Orne) et à Mo-W-Sn-Ag-Sb-Bi de La Rousselière (Loire Atlantique). Thèse, Univ. Orléans, 450 p.
- Georget Y.** (1986) - Nature et origine des granites peralumineux à cordiérite et des roches associées. Thèse Univ. Rennes, *Mém. Doc. CAESS*, 9, 176 p.
- Georget Y., Martineau F., Capdevila R.** (1986) - Age tardi-hercynien et origine crustal du granite de Brignogan (Finistère, France). Conséquences sur l'interprétation des granites nord-armoricains. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 302, 237-242.
- Godard G., Bouton P., Poncet D. avec la collaboration de Guerrot C., Roy C., Thiéblemont D., Chèvremont P.** (2010) - Notice explicative, carte géologique de la France (1/50 000), feuille Montaigu (536). Orléans : BRGM, 161 p.
- Goujou J.C** (1992) - Analyse pétro-structurale dans un avant-pays métamorphique : influence du plutonisme tardi-orogénique varisque sur l'encaissant épi à mésozonal de Vendée. *Doc. BRGM*, 216, 347 p.
- Graindor M.J.** (1962) - L'âge de la migmatite syntectonique de Saint-Malo. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 254, 3729-3731.
- Graindor M.J., Wasserburg G.J.** (1962) - Détermination d'âges absolus dans le nord du Massif armoricain. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 254, 3875-3877.
- Grange M.** (1981) - Reconnaissance géologique et métallogénique du "prospect" polymétallique de Beauvain (Orne, France). Thèse 3^{ième} Cycle, Univ. Paris 6, 184 p.

- Graviou P., Peucat J.J., Auvray B., Vidal Ph.** (1988) - The Cadomian Orogeny in the Northern Armorican Massif: petrological and geochronological constraints on a geodynamic model. *Hercynica*, IV, 1, 1-13.
- Guerrot C.** (1998) - Résultats de datation U-Pb par dissolution sur zircons deux échantillons du Massif Armoricain. - Rhyolite de Lézardrieux (DLEZ5) : Feuille de Tréguier. - Granodiorite de La Mouclerie (DMB123b) : Feuille de Montreuil-Bellay. Rapport SMN/ANA/ISO 98/255 CG/NB, octobre 1998, 7 p.
- Guerrot C.** (1998) - Résultats de datation U-Pb par dissolution sur zircons pour la monzodiorite de Plounévez-Lochrist, carte Saint-Pol de Léon. Rapport BRGM, SMN/ANA/ISO 98/256 CG/NB, 7 p.
- Guerrot C.** (1999) - Résultats de datation U-Pb par dissolution sur zircons pour l'orthogneiss anatectique de Pont-Sal, Massif Armoricain. Echantillon JM270A. Note SMN/ANA/ISO 99/110 CG/JDLH, BRGM, 4 p.
- Guerrot C.** (2001) - Résultats de datation U-Pb par dissolution sur zircons pour deux échantillons de la granodiorite des Aubiers, carte de Vihiers. Note N° DE400171 - N° ANA G1440C, BRGM, 6 p.
- Guerrot C.** (2004) - Résultats de datation par évaporation du plomb sur monozircon. Analyse de deux échantillons d'orthogneiss de la feuille Lorient, carte à 1/50 000. BRGM, ANA/ISO, étude 04-1-006-N, 6 p.
- Guerrot C. et Peucat J.J.** U-Pb geochronology of the Upper Proterozoic Cadomian Orogeny in the Northern Armorican Massif, France. In: D'Lemos R.S., Strachan R.A. et Topley C.G. (eds), *The Cadomian Orogeny*, Geol. Soc. Spec. Publ., 1990, n° 51, London, 13-26.
- Guerrot C., Béchenec F., Thiéblemont D.** (1997) - Le magmatisme paléozoïque de la partie nord-ouest du domaine sud-armoricain: données géochronologiques nouvelles. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 324, 977-984.
- Guerrot C., Calvez J.Y., Bonjour J.L., Chantraine J., Chauvel J.J., Dupret L., Rabu D.** (1992) - Le Briovérien de Bretagne centrale et occidentale: nouvelles données radiométriques. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 315, 1741-1746.
- Guineberteau B.** (1986) - Le massif granitique de Mortagne-sur-Sèvre (Vendée) - Structure, gravimétrie, mise en place; distribution de U-Th-K. *Mém. Centre Rech. Géol. Uranium*, 11, 198 p.
- Gumiaux C.** (2003) - Modélisation du cisaillement hercynien de Bretagne centrale : déformation crustale et implications lithosphériques. Thèse, Université de Rennes, 267 p.
- Hébert R., Hallot E., Guerrot C., Chantraine J.** (1993) - New structural , petrological and radiometric constraints within the Cadomian Belt: chronology of events in the Baie de Saint-Brieuc, Northern Armorican Massif (France). *C. R. Acad. Sci. Paris*, 316, 395-401.
- Janjou D., Lardeux H., Chantraine J., Callier L., Etienne H.** (1998) - Notice explicative de la feuille Segré à 1/50 000. BRGM : Orléans, 68 p.
- Jonin M., Vidal Ph.** (1975) - Etude géochronologique des granitoïdes de la Mancellia, Massif Armoricain, France. *Can. J. Earth Sci.*, 12, 920-927.
- Jouvin F.** (1986) - Etude du contrôle structural et des conditions pression-température lors de la mise en place d'un leucogranite en contexte de collision : exemple du massif d'Odet-Lestonan (Finistère). Mémoire de D.E.A.: Océanologie et géodynamique, Univ. de Brest, 142 p.
- Kaplan G., Leutwein F.** (1963) - Contribution à l'étude géochronologique du massif granitique de Vire (Normandie). *C. R. Acad. Sci. Paris*, 256, 2006-2008.
- Kuntz G., Ménillet F., Le Gall J., Rioult M.** (1989). Notice explicative de la feuille Argentan à 1/50 000. BRGM : Orléans, 99p.
- Lahondère D., Chèvremont P., Béchenec F., Bouton P., Godard G., Stussi J.M. avec la collaboratoïn de Viaud J.M., Roy C., Cocherie A., Rebay G.** (2009) - Notice explicative, Carte géol. France (1/50 000), feuille Palluau (585). Orléans : BRGM, 173 p.
- Le Berre P. avec la collaboration de Thomas E., Schroetter J.M., Cocherie A., Carn-Dheilly A., Mougïn B., Tégÿey M., Foucaud-Lemercier B., Rivière J.M., Gautier M., Vivet J.B.** (2009) - Notice explicative, Carte géologique de la France (1/50 000), feuille Guer (352). Orléans : BRGM, 126 p.
- Le Gall B., Authemayou C., Ehrhold A., Paquette J.L., Bussien D., Chazot G., Aouizerat A., Pastol Y.** (2014) - LIDAR offshore structural mapping and U/Pb zircon/monazite dating of Variscan strain in the Leon metamorphic domain, NW Brittany. *Tectonophys.*, 630, 236-250
- Le Gall J., Vernhet Y., Lacquement F., Gauquelin J.L., Robert A., Naveau J., Cocherie A.** (2011) - Notice explicative, Carte géologique de la France (1/50 000), feuille Laval (319). Orléans : BRGM, 261 p.

- Le Métour J. et al.** (en préparation). Notice explicative, carte géologique de la France (1/50 000), feuille Auray-Quiberon. Orléans : BRGM.
- Le Métour J., Bernard-Griffiths J.** (1979) - Age (limite Ordovicien-Silurien) de mise en place du massif hypovolcanique de Thouars (Massif vendéen). Implications géologiques. Bull. BRGM, 1, 4, 365-371.
- Le Métour J. avec la collaboration de Bloin J.P., Chantraine J., Clozier L., Etienne H.** (1989) - Notice explicative de la feuille Cholet à 1/50 000 (510). BRGM : Orléans, 55p.
- Leutwein F., Chauris L., Sonet J., Zimmermann J.L.** (1969) - Etudes géochronologiques et géotectoniques dans le Nord-Finistère (Massif Armoricaïn). Sci. Terre, XIV, 4, 329-358.
- Leutwein F., Power G., Roach R., Sonet J.** (1973) - Quelques résultats géochronologiques sur des roches d'âge précambrien du Cotentin. C. R. Acad. Sci. Paris, 276, 2121-2124.
- Leutwein F., Sonet J., Zimmermann J.L.** (1968) - Géochronologie et évolution orogénique précambrienne et hercynienne de la partie nord-est du Massif Armoricaïn. Sci. Terre, 11, 84 p.
- Leutwein F., Sonet J., Zimmermann J.L.** (1972) - Dykes basiques du Massif Armoricaïn septentrional. Contribution à leur étude géochronologique. C. R. Acad. Sci. Paris, 275, 1327-1330.
- Marcoux E., Chauris L., Hallegouët B., Guennoc P., Thiéblemont D.** (2004) - Notice explicative, carte géol. France (1/50 000), feuille Plouguerneau (200). Orléans : BRGM, 144 p.
- Melleton J.** (2009) - Modalités du recyclage de la croûte continentale dans l'orogène varisque par traçage in situ des zircons hérités (mesures U-Pb/LA-MC-ICPMS). Thèse, Université d'Orléans, 261 p.
- Miller B.V., Samson S.D., D'Lemos R.S.** (2001) - U-Pb geochronological constraints on the timing of plutonism, volcanism and sedimentation Jersey, Channel Islands, UK. J. Geol. Soc. London, 158, 243-252.
- Miller B.V., Samson S.D., D'Lemos R.S.** (1999) - Time span of plutonism development and cooling in a Neoproterozoic magmatic arc segment: U-Pb age constraints from syn-tectonic plutons, Sark, Channel Islands, UK. Tectonophysics, 312, 79-95.
- Nagy E.A., Samson S.D., D'Lemos R.S.** (2002) - U-Pb geochronological constraints on the timing of Brioverian sedimentation and regional deformation in the St. Brieuc region of the Neoproterozoic Cadomian orogen, northern France. Precambrian Res., 116, 1-17
- Paquette J.L.** (1987) - Comportement des systèmes isotopiques U-Pb et Sm-Nd dans le métamorphisme éclogitique. Chaîne hercynienne et chaîne alpine. Mém. Doc. CAESS, 14, 181 p.
- Paquette J.L., Balé P., Ballèvre M., Georget Y.** (1987) - Géochronologie et géochimie des éclogites du Léon: nouvelles contraintes sur l'évolution géodynamique du Nord-Ouest du Massif Armoricaïn. Bull. Minéral., 110, 683-696.
- Paquette J.L., Peucat J.J., Bernard-Griffiths J., Marchand J.** (1985) - Evidence for old Precambrian relics shown by U-Pb zircon dating of eclogites and associated rocks in the Hercynian belt of South Brittany, France. Chem. Geol. (Isot. Geosc. Sect.), 52, 203-216.
- Pasteels P.** (1970) - Uranium-lead radioactive ages of monazite and zircon from Vire-Carolles granites (Normandy). A case of zircon-monazite discrepancy. Eclogae Geol. Helv., 63/1, 231-237.
- Pasteels P., Doré F.** (1982) - Age of the Vire-Carolles granite. In: G.S. Odin (ed.), Numerical dating in Stratigraphy, 2, 784-790.
- Perroud H., Auvray B., Bonhommet N., Mace J., Van der Voo R.** (1986) - Paleomagnetism and K-Ar dating of Lower Carboniferous dolerite dykes from Northern Brittany. Geophys. J. Res. Astr. Soc., 87, 143-154.
- Peucat J.J.** (1983) - Géochronologie des roches métamorphiques (Rb-Sr et U-Pb). Exemples choisis au Groënland, en Laponie, dans le Massif armoricaïn et en Grande Kabylie. Mém. Soc. géol. minéral. Bretagne, 28, 158 p.
- Peucat J.J.** (1986) - Rb-Sr and U-Pb dating of the blueschists of the Ile de Groix. Geol. Soc. Amer. mem., 164, 229-237.
- Peucat J.J.** (1986) - Behaviour of Rb-Sr whole rock and U-Pb zircon systems during partial melting as shown in migmatitic gneisses from the Saint Malo Massif, NE Brittany, France. J. Soc. Geol. London, 143, 875-885.
- Peucat J.J., Charlot R., Mifdal A., Chantraine J., Autran A.** (1979) - Définition géochronologique de la phase bretonne en Bretagne centrale. Etude Rb/Sr de granites du domaine centre armoricaïn. Bull. BRGM, 1, 4, 349-356.
- Peucat J.J., Auvray B., Hirbec Y., Calvez J.Y.** (1984) - Granites et cisaillements hercyniens dans le Nord du Massif Armoricaïn: géochronologie Rb-Sr. Bull. Soc. Geol. France, XXVI, 6, 1365-1373.

- Peucat J.J., Hirbec Y., Auvray B., Cogné J., Cornichet J.** (1981) - Late Proterozoic zircon ages from a basic-ultrabasic complex: a possible Cadomian orogenic complex in the Hercynian belt of western Europe. *Geology*, 9, 169-173.
- Peucat J.J., Paris F., Chalet M.** (1986) - U-Pb zircon dating of volcanic rocks, close to the Silurian-Devonian boundary, from Vendée (Western France). *Chem. Geol. (Isot. Geosci. Sect.)*, 59, 133-142.
- Peucat J.J., Vidal Ph., Godard G., Postaire B.** (1982) - Precambrian U-Pb zircon ages in eclogites and garnet pyroxenites from South Brittany (France): an old oceanic crust in the West European Hercynian Belt. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 60, 70-78.
- Peucat J.J., Le Métour J., Audren C.** (1978) - Arguments géochronologiques en faveur de l'existence d'une double ceinture métamorphique d'âge siluro-dévonien en Bretagne méridionale. *Bull. Soc. Géol. France*, 7, XX, 2, 163-167.
- Poncet D., Bouton P. avec la collaboration de Cocherie A., Chèvremont P.** (2010) - Notice explicative, Carte géol. France (1/50 000), feuille Moncoutant (564). Orléans : BRGM, 116 p.
- Power G.M., Brewer T.S., D'Lemos R.S.** (1990) - The post-tectonic Cadomian complex of La Hague, Manche, N.France. In : R.S. D'Lemos, R.A. Strachan R.A., C.G. Topley (eds), *The Cadomian Orogeny*, *Geol. Soc. Spec. Publ.*, 51, 261-272.
- Rolin P., Audru J.C., Bouroullec I., Wyns R., Thiéblemont D., Cocherie A., Guerrot C., Courtois N., Bernard E.** (2000) - Notice explicative, carte géol. France (1/50 000), feuille Les Herbiers (537). Orléans : BRGM, 117 p.
- Rolin P., Audru J.C., Poncet D., Thiéblemont D., Guerrot C., Cocherie A., Farjanel G., Fauconnier D., Lemordant Y., Soyer C.** (2004) - Notice explicative, carte géol. France (1/50 000), feuille Bressuire (538). Orléans : BRGM, 112 p.
- Rossi Ph., Cocherie A., Meyer G., Fouillac A.M., Autran A.** (1988) - Metallogenic W and Sn Granites: genesis and main distinguishing features. In : J. Boissonas J., P. Omenetto (eds), *Mineral deposits within the European Community*, BRGM-CNRS, 3-28.
- Ruffet G., Féraud G. et Amouric M.** Comparison of ^{40}Ar - ^{39}Ar conventional and laser dating of biotites from the North Tregor Batholith. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1991, vol. 55, 1675-1688.
- Ruffet G., Perroud H., Féraud G.** (1990) - $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of a Late Proterozoic palaeomagnetic pole for the Armorican Massif (France). *Geophys. J. Int.*, 102, 397-409.
- Samson S.D., D'Lemos R.S.** (1998) - U-Pb geochronology and Sm-Nd isotopic composition of Proterozoic gneisses, Channel Islands, UK. *J. Geol. Soc. London*, 155, 609-618.
- Samson S.D., D'Lemos R.S., Blichert-Toft J., Vervoort J.** (2003) - U-Pb geochronology and Hf-Nd isotope compositions of the oldest Neoproterozoic crust within the Cadomian orogen: new evidence for a juvenile terrane. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 208, 165-180.
- Saunier J.F.** (1985) - Un domaine cristallophyllien dans le Protérozoïque Supérieur (Briovérien) de Bretagne centrale : le dôme de Plouguenast. Thèse Univ. Rennes, 1985, 138 p.
- Sonet J.** (1968) - Essai d'interprétation d'un ensemble de mesures géochronologiques au Rb-Sr des massifs granitiques vendéens. Mise en évidence d'une dualité génétique. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 267, 15-17.
- Schulz B.** (2013) - Monazite EMP-Th-U-Pb age pattern in Variscan metamorphic units in the Armorican Massif (Brittany, France). *German J. Geosci.*, 164, 313-335.
- Schulz B., Krenn E., Finger F., Bratz H., Klemd R.** (2007) - Cadomian and Variscan metamorphic events in the Léon domain (Armorican Massif, France): P-T data and EMP monazite dating. In : U. Linneman, R. Nance R., P. Kraft (eds.), *The evolution of the Rheic Ocean from Avalonian-Cadomian Active Margin to Alleghenian-Variscan collision*. *Geol. Soc. Am. Sp. Pap.*, 423, 267-285.
- Talbert J.C., Vialette Y.** (1972) - Étude géochronologique du massif de Mareuil-sur-Lay (Vendée). *C. R. Acad. Sci. Paris*, 274, 2737-2739.
- Tartèse R., Poujol M., Ruffet G., Boulvais P.** (2011) - New U-Pb zircon and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ muscovite age constraints on the emplacement of the Lizio syn-tectonic granite (Armorican Massif, France). *C. R. Geoscience*, 343, 443-453.
- Thiéblemont D., Augier R., Ferry J.N., Laurent-Charvet S., Maleyx C., Ravoux A., Lebre P., Guerrot C., Chrétien P.** (2011) - Notice explicative, Carte géol. France (1/50 000), feuille Vihiers (511). Orléans : BRGM, 122 p.
- Thiéblemont D., Guerrot C., Le Métour J., Jézéquel P.** (2011) - Le complexe de Cholet-Thouars : un ensemble volcano-plutonique cambrien au sein du bloc précambrien des Mauges. *Géol. France*, 1-2, 7-17.
- Thomas E., Sevin B., Lesimple S., Le Berre P., Fullgraf T., Beuchet L., Carn A.** (2010) - Notice explicative, Carte géologique de la France (1/50 000), feuille Loudéac (314). Orléans, BRGM : 112 p.

- Trautmann F., Carn A.** (1997) - Notice explicative, carte géologique de la France (1/50 000), feuille La-Guerche-de-Bretagne (354). Orléans : BRGM, 65 p.
- Trautmann F., Becq-Giraudon J.F., Chèvremont Ph., Guerrot C., Thiéblemont D.** (2002) - Datation à 378 Ma du massif du Pertre (Ille-et-Vilaine, Mayenne) : un leucogranite hyperalumineux d'âge Dévonien moyen à supérieur en Bretagne centrale. *Géol. France*, 1, 65-80.
- Turrillot P.** (2011) - Fusion crustale et évolution tardi-orogénique du Domaine Sud Armoricaïn. Thèse, Univ. d'Orléans, 361 p.
- Turrillot P., Augier R., Monié P., Faure M.** (2011) - Late orogenic exhumation of the Variscan high-grade units (South Armorican Domain, western France), combined structural and $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ constraints. *Tectonics*, 30, 1-27.
- Vernhet Y., Plaine J., Trautmann F., Pivette B. avec la collaboration de Chèvremont P., Bourdillon C., Cocherie A. (2009) - Notice explicative, Carte géologique de la France (1/50 000), feuille Cossé-le-Vivien (355). Orléans : BRGM, 222 p.
- Vidal Ph.** (1980) - L'évolution polyorogénique du Massif armoricaïn: apport de la géochronologie et de la géochimie isotopique du Strontium. *Mém. Soc. géol. minéral. Bretagne*, 21, 162p.
- Vidal Ph., Deutsch S., Martineau F., Cogné J.** (1974) - Nouvelles données radiométriques en Baie de Saint-Brieuc. Le problème d'un socle antécadomien nord-armoricaïn. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 279, 631-634.
- Vidal Ph., Peucat J.J., Lasnier B.** (1980) - Dating of granulites involved in the Hercynian fold-belt of Europe: an example taken from the granulite-facies orthogneisses at La Picherais, Southern Armorican Massif, France. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 72, 283-289.
- Vidal Ph., Auvray B., Cogné J., Hameurt J., Jeannette D.** (1971) - Données géochronologiques sur la série spilitique d'Erquy: problèmes nouveaux à propos du Briovérien de Bretagne septentrionale. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 273, 132-135.
- Wyns R., Godard G., Lablanche G., Biron R., Bresson G.** (1989) - Notice explicative de la feuille La Roche-sur-Yon à 1/50 000 (562). BRGM : Orléans, 80 p.
- Wyns R., Lablanche G., Lefavrais-Raymond A.** (1988) - Notice explicative de la feuille Chantonay à 1/50 000 (563). BRGM : Orléans, 76 p.