

Édito

Depuis plus de 26 ans, «Techniques des Fluides» est une publication périodique faisant le lien entre vous et nous. Aujourd'hui, Je suis heureux de vous présenter cette 36ième édition et vous livrer un petit historique alors même que je rejoins le CERG en qualité de Directeur Général.

En 2007, alors que j'étais Directeur Général d'ALSTOM Bergeron, une des mes missions était de réussir l'essaimage du CERG pour qu'il devienne une entreprise indépendante. Si Thierry ERNOULT – Président a su efficacement relever ce défi, je suis resté attentif au devenir de CERG et de ses équipes qui sont devenus aujourd'hui un laboratoire d'études et d'essais largement reconnu.

Il y a quelques mois, alors que Robert LABORDE était nommé Directeur Scientifique, Thierry ERNOULT me proposait de rejoindre le CERG pour le seconder en qualité de Directeur Général. Au cours de mon parcours professionnel, j'ai eu le plaisir de travailler au sein de différentes sociétés du secteur de l'énergie, mixant PME, ETI

et grands groupes. Ayant participé à différents projets du secteur nucléaire (EPR, DUS, Grand Carenage, ITER or RJH) et pétrole (FPSO Girassol, Pazflor, Ichthys, BP In Salah, Shad Deniz) au travers de la fourniture de différents sous-ensembles, mon arrivée au CERG, il y a quelques semaines m'a remis dans le bain des machines tournantes et des systèmes fluides.

Au CERG, ma mission principale est de mettre en place des outils et des méthodes industrielles pour accompagner le développement de la société. Dans ce cadre, CERG va se doter en 2019 d'un nouvel ERP visant à accompagner la vision projet de chaque affaire, faciliter la prise de décision quotidienne et ainsi mieux servir nos clients.

Bonne lecture

Luc CAUQUIL
Directeur général



Les brèves du CERG

Le 14 décembre 2018 à 13 h heure française, le sous-marin Riachuelo, premier sous-marin brésilien, a été lancé à Itaguaí au Brésil. Via Naval Group à Cherbourg, nous avons modestement collaboré à sa réalisation par des essais de chocs mécaniques sur notre machine MAC3T capable de générer des chocs de plusieurs centaines de g sur des spécimens de plus de 2,5 T.



p1 **EDITO**
par **Luc CAUQUIL**

p2/3 **SURETE NUCLEAIRE : EAUX CHARGÉES**
par **Robert LABORDE**

p4/5 **SURETE NUCLEAIRE : ESSAIS D'IRRADIATION**
par **Arnaud HEINRICH**

p6 **PROCHAINES FORMATIONS**

SURETÉ NUCLÉAIRE : EAUX CHARGÉES

Robert LABORDE

Ingénieur

robert.laborde@cerg-fluides.com



La sûreté et les accidents en réacteurs nucléaires par perte de refroidissement

La sûreté des réacteurs nucléaires fait l'objet de nombreuses études, tant pour les réacteurs déjà en fonctionnement que pour les nouvelles générations, ces aspects étant alors intégrés dans leur conception même. Les différents scénarii d'accident sont eux-mêmes étudiés et réévalués sans cesse tant en terme de processus physiques possibles qu'en terme de nature des dégâts potentiels et de solutions pour en réduire les effets. Dans un réacteur, quelle que soit sa génération, son type ou le pays où il est installé, l'énergie de la réaction nucléaire qui a lieu dans les assemblages combustibles est extraite sous forme de chaleur et les calories sont évacuées par des circuits d'eau, généralement appelés circuits primaires. La chaleur transportée sert, via un ensemble d'éléments (circuits d'échange avec pompes, échangeurs, générateur de vapeur et condenseur, pour ne citer que les principaux) à obtenir de la vapeur d'eau qui va alimenter différents étages d'une turbine à vapeur, qui, couplée à un alternateur va générer la puissance électrique.

Compte tenu des températures et des pressions rencontrées dans les circuits véhiculant la chaleur, des contraintes mécaniques subies, et de certaines circonstances extérieures, un élément de ces conduites peut être amené à présenter une brèche. Selon l'importance (taille) et la localisation (température) de la brèche l'accident qui en résulte est baptisé différemment: on parle alors d'A.P.R.P. (Accident de Perte de Réfrigérant Primaire – L.O.C.A. Loss of Cooling Accident) ou d'A.G. (Accident Grave).

Les débris générés par les accidents

Dans le cas de tels incidents, un jet à haute pression et haute température est généré au travers de la brèche. Ce jet de très haute énergie détruit sur son passage la majorité des éléments présents dans une sphère d'influence. Les composants susceptibles de subir cette destruction sont essentiellement des matériaux isolants pour la chaleur (laines de verre ou de roche, matériaux pulvérulents agglomérés dans des coques isolantes,...), des revêtements de surface (peintures époxy, bétons), du matériel électrique et divers matériaux, type coques métalliques, joints etc...

Ces éléments sont alors appelés « débris ». L'eau sortant de la brèche arrache et emporte donc de nombreux débris et finit son parcours en fond du bâtiment réacteur (B.R. - enceinte en béton d'environ 30m de diamètre).

Le débit de la brèche va minimiser de façon conséquente les calories qui sont normalement extraites du cœur. Il est alors nécessaire de faire appel à des parades, conçues et élaborées par les études de sûreté, nécessitant généralement le maintien d'écoulements de «refroidissement».

Sans entrer dans les détails, pour les cas des R.E.P. (Réacteurs à Eau Pressurisée) français, toutes générations confondues, il y a globalement deux circuits : un circuit d'aspersion du cœur (par exemple circuit E.A.S.) et un circuit qui réinjecte de l'eau dans les conduites sur lesquelles la brèche a eu lieu (par exemple circuit R.I.S.). L'eau utilisable est celle qui est sortie par la brèche et se retrouve stockée en fond de B.R., mais chargée avec beaucoup de débris. Si rien n'est fait ces débris vont rapidement empêcher le fonctionnement correct de ces systèmes de pompage de sûreté.

Le rôle du CERG dans les études de sûreté et dans la maîtrise des débris

À ces fins, l'eau chargée en débris est pompée au travers de filtres spéciaux disposés en fond de BR. La conception des circuits, des filtres (principe, géométrie, maille, nombre, localisation, etc), des pompes,... nécessite d'appréhender les caractéristiques des débris (nature, masse mise en jeu, taille des débris, propriétés physico-chimiques) et le comportement des débris en écoulement (phénomènes d'entraînement, de sédimentation, d'agglomération, vitesse de chute, etc). Il s'agit ensuite d'étudier le fonctionnement des filtres dans les diverses situations (type d'accident, débit pompé, nombre de pompes en marche, température, masse et répartition des débris,..) de façon à vérifier leur aptitude à assurer leur mission (valeur de la perte de charge, [qui influe sur le NPSH disponible des pompes], tenue mécanique, caractéristiques des débris qui passent au travers, [et qui sont alors susceptibles d'envahir les garnitures des pompes ou de colmater les assemblages combustibles]).

Le CERG a participé à un grand nombre des études et essais destinés (cf figures 1 et 2 relatives à des tests de perte de charge de filtres) à répondre aux questionnements énoncés dans le paragraphe précédent.



Figure 1 : Test de mesure de perte de charge de compartiments filtrants en situation réelle d'écoulement ; phase initiale d'injection des débris pour recherche de l'effet de peau - face d'une ailette d'environ 0.5m² – bassin de 20m³ et hauteur d'eau de 2m – débit filtrable entre 2 et 100l/s – quantité de débris injectable jusqu'à 150kg.

Une de ses missions particulières a été de mettre au point des méthodes de fabrication pour réaliser des débris identiques à ceux qui résulteraient d'un accident par brèche tel qu'évoqué plus avant. Pour cela, sur la base de matériaux installés sur les sites de production dans les B.R., et de spectres de taille définis par EDF (pour ce qui concerne les réacteurs Français) le CERG a développé des protocoles semi-industriels de fabrication de débris (plus d'une vingtaine de types différents – cf un exemple sur la figure 3).



Figure 2 : Résultat du test de perte de charge en lit épais sur 4 ailettes de géométrie spécifique ; recherche de vortex pendant le processus de dénoyage.

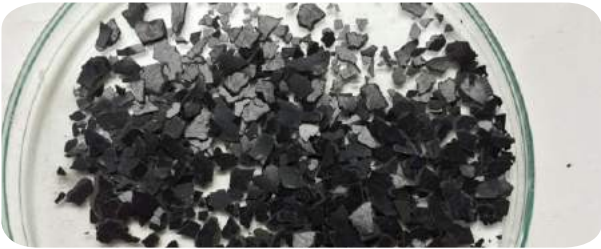


Figure 3 : Débris de peinture sous forme de « chips » ou éclats à partir de peinture Epoxy noire type PIC100, résultant d'un process de fabrication mis au point par le CERG – Eclats d'épaisseur de l'ordre de 100µ et de surface environ 10-15 mm².

Ces fabrications sont associées à la réalisation d'analyse et de mesures de taille de ces débris. Parmi tous ces débris, ceux de la famille des débris fibreux jouent un rôle particulièrement important sur les phénomènes à étudier. Pour ce qui concerne les filtres, par exemple, les fibres sont étroitement liées à la formation d'un matelas, qui permet de retenir les particules fines qui a une influence très forte sur la valeur de la perte de charge subie. Il a aussi été constaté que les résultats d'analyses réalisées pour appréhender leur taille étaient très sensibles aux méthodes de prélèvement de la solution témoin, de traitement de l'échantillon pour en extraire le matériau à analyser et d'analyse elle-même (mesure de la longueur et du diamètre des fibres effectué sous microscope à fort grossissement couplée à une analyse d'image qui ne peut pas être effectuée de façon automatique).

La méthodologie de fabrication des débris à base de fibres a été mise au point afin d'obtenir un spectre granulométrique objectif fourni initialement par EDF au début des années 2000 (typiquement un L50 – longueur médiane du spectre à 500µm) pour des débris dit « amont », c'est-à-dire ceux arrivant sur les filtres. Cette méthodologie une fois mise au point a donné lieu à la fabrication d'un outil et est scrupuleusement respectée dans chaque fabrication de nouveaux débris (destruction au « laserjet » à partir de types de calorifuges réellement installés en centrale et préalablement vieilliss thermiquement – cf exemple en photo sur la figure 4).



Figure 4 : Débris de calorifuge type PROTECT 1000S obtenus après vieillissement thermique, et destruction au « laser-jet », puis séchage simple – Fibres de longueur moyenne 500µ

Sur la période écoulée, par rapport aux besoins initiaux, certaines évolutions ont été notées :

- Le besoin de fibres dites « aval » (c'est-à-dire étant passé au travers des filtres) avec une longueur moyenne plus courte qui a donné lieu à la mise au point d'un protocole spécifique,
- La nécessité de pouvoir disposer de très faibles masses de fibres pour réaliser certains essais entraînant la nécessité de sécher les fibres détruites,
- La décision, par principe de précaution, de ne laisser en suspension en eau les débris fabriqués qu'une durée réduite,
- La nécessité de remise en suspension des fibres détruites, par l'usage possible de cuves à ultrasons et/ou de brasseurs rotatifs,
- Le besoin dans certaines activités de disposer d'autres débris fibreux à partir d'autres natures de calorifuges,
- La possibilité de réaliser les mesures de longueurs répétibles et fiables,
- L'interrogation sur la durée possible de conservation des échantillons avant de les soumettre à l'analyse.

Action de R&D du CERG sur le thème des débris

Une opération de Recherche et Développement a été entreprise par le CERG sur la fabrication et l'analyse de la taille des débris pour répondre aux interrogations énoncées dans le paragraphe précédent, mais aussi pour développer la maîtrise et la connaissance dans le domaine de la fabrication et l'utilisation de débris à des fins de tests expérimentaux.

Fort de son expérience propre dans le domaine des débris le CERG a introduit dans la RetD lancée un certain nombre d'actions dédiées à répondre aux problématiques énoncées ci avant.

En se basant sur les protocoles de mesures pratiqués dans ce domaine et en introduisant dans la réflexion le fort potentiel de sédimentation des fibres les plus longues (ségrégation), des analyses comparatives ont été lancées sur divers types d'échantillons. Ces analyses ont été réalisées en suivant différents protocoles et montrent des disparités importantes dans les spectres de taille obtenus. L'objectif consiste alors à définir le protocole de mesure qui décrira le plus précisément l'échantillon à traiter et qui traitera de :

- La méthode de prélèvement de l'échantillon
- Le traitement de l'échantillon (dilution, décantation, évaporation, extraction, et quantité minimale ou maximale),
- La répétitivité de la mesure
- L'effet de la durée de conservation dans l'eau
- L'influence des successions d'actions pouvant intervenir lors des processus de fabrication : séchage, remise en eau, ultrasons, mélange, séjour dans l'eau...

Une approche de la mesure de diamètre des fibres des calorifuge fabriqués et une réflexion sur cette notion de diamètre suite aux écarts constatés entre valeurs fabricant annoncées et mesures effectuées seront effectuées.

La RetD engagée inclut une réflexion sur l'analyse de l'évolution de la concentration des débris lorsqu'ils sont en solution en eau en fonction de divers paramètres tels que nature des débris en présence, température, durée, concentration, nature de l'eau.

La réflexion sera également menée sur de nouveaux composants, et sur l'évolution des produits industriels, vis-à-vis de ceux déjà installés (R.M.I. par exemple). L'usage de matériaux de remplacement pour représenter en essai les débris réels (« surrogates ») sera investigué. Des tests d'irradiation pourraient également être programmés.

SURETE NUCLEAIRE : ESSAIS D'IRRADIATION

Arnaud HEINRICH

Ingénieur

arnaud.heinrich@cerg-fluides.com



Préambule

La Sûreté Nucléaire est un pan majeur de l'activité du CERG. En complément des essais réalisés sur bancs hydrauliques, nous réalisons des essais d'irradiation sur des équipements qui peuvent être en fonctionnement. Ceci inclut des alimentations électriques, du monitoring ou de la circulation de fluide. La sévérité extrême du milieu nécessite de grandes précautions pour mettre en œuvre ces servitudes et mesures.

Irradiation

L'industrie nucléaire civile et de recherche met en œuvre des équipements dans des zones soumises à des rayonnements ionisants très sévères. Les exigences de fiabilité et de sécurité extrêmes de ce secteur nécessitent de réaliser des essais d'irradiation qui représenteront à la fois les conditions de fonctionnement normal, mais aussi les conditions dites accidentelles. Le CERG travaille en étroite collaboration avec EDF pour la qualification des matériels destinés à être installés en centrale nucléaire ou en réacteur de recherche, tel que le Réacteur Jules Horowitz. Nous traitons en particulier des qualifications d'actionneurs et sondes de mesure de tout type. Voici une présentation de la discipline et de nos procédures.

Principe général

Un essai d'irradiation consiste à exposer un équipement à une source de rayons gamma. Ces sources sont constituées de Cobalt 60 radioactif placé dans des tubes scellés, à double enveloppe. Le rayonnement gamma est une émission de photons, un rayonnement électromagnétique.

Ce sont des photons très énergétiques qui sont capables d'interagir avec le nuage électronique des atomes. Il en résulte la formation d'ions qui réagissent alors avec les autres espèces chimiques en présence. Les rayons gamma sont donc capables de casser des liaisons covalentes, mais n'affectent pas la cohésion du noyau (protons et neutrons). Ils ne créent donc pas de radioactivité induite.

Trois paramètres principaux déterminent la sévérité d'une irradiation en laboratoire :

- Le débit de dose : il s'exprime en kGy/h (kiloGray par h)
- La dose absorbée : c'est le produit du débit de dose par le temps d'exposition. Elle s'exprime en kGy
- La température d'essai, en °C

Le Gray est l'unité du Système International de dose absorbée lors d'une irradiation par des rayonnements ionisants. 1 Gray représente la dose absorbée dans un élément de matière de 1 kilogramme auquel les rayonnements ionisants communiquent de manière uniforme une énergie de 1 Joule.

Ce nom vient de Louis Harold Gray, physicien britannique né au début du Vingtième Siècle.

Irradiateur et environnement

Les études de vieillissement et d'immunité aux rayons gamma sont réalisés dans un irradiateur qui se présente sous forme de casemate en béton, associée à une piscine de stockage. Hors fonctionnement, les sources radioactives reposent dans la piscine, sur un porte-source. La couche d'eau protège le personnel des rayonnements.

Pour irradier un spécimen, il est placé dans la casemate et les sources gamma sont sorties de la piscine par un système de convoyeur mécanique.

Pour interdire toute présence humaine dans la casemate, un système de clés prisonnières commande l'accès à la casemate et le déplacement des sources.

L'irradiation de l'air ambiant, et particulièrement du dioxygène, produit de l'ozone en faible quantité. Un renouvellement d'air permanent est assuré dans la casemate. Le faible volume produit et le fort taux de renouvellement d'air font que la quantité d'ozone à la sortie de la ventilation est quasiment indétectable.

L'irradiateur ne présente donc aucun danger pour son environnement.

Détermination du protocole expérimental

Le CERG prend en charge le besoin du client très en amont, dès la rédaction du protocole d'essai. Nous nous appuyons particulièrement sur l'environnement normatif, les documents de référence rédigés par EDF et une excellente connaissance des produits de nos clients.

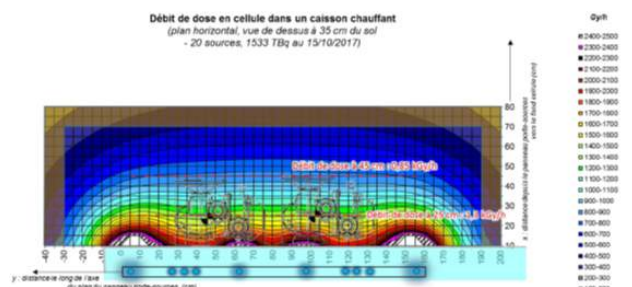
Afin de garantir le débit de dose souhaité et atteindre le cumul de dose demandé, l'encombrement, la masse et les matériaux constitutifs du spécimen sont pris en compte. Il faut en effet définir une stratégie d'exposition propre à chaque produit testé.

La première étape consiste à définir le nombre de sources gamma nécessaires et leur répartition sur le porte-source. On détermine ainsi un champ de rayonnement dans l'espace.

On se préoccupe particulièrement de trouver des zones d'iso-dose favorables à une irradiation homogène. Ce processus est réalisé suivant la méthode Monte-Carlo grâce à un logiciel de simulation numérique.

La durée de demi-vie des sources au Cobalt 60 n'est que de 5,27 ans. Il est donc important de prendre en compte le vieillissement des sources pour injecter les bons paramètres dans la simulation.

Le positionnement des spécimens est ainsi possible dans l'espace.



Fort des résultats de la simulation, et pour vérifier expérimentalement sa pertinence, une dosimétrie préalable doit être réalisée. Elle consiste à placer des dosimètres dans le volume qui contiendrait les spécimens durant l'essai. Ces dosimètres sont alors exposés aux radiations sur une durée pré-déterminée en fonction de leur gamme de mesure.

Pour cela, on utilise des dosimètres à lecture optique dont le principe est que la densité optique change avec la dose. Il s'agit de dosimètres de type PMMA (poly-méthylméthacrylate), et plus particulièrement les dosimètres "Red Perspex" ou "Amber Perspex" fournis par HARWELL Dosimeters Ltd.

Ces morceaux de plastique teinté, de 30 x 11 x 3 mm sont conditionnés individuellement dans des blisters aluminisés, de 65 x 50 mm. La lecture après irradiation se fait au moyen d'un spectrophotomètre et d'un comparateur pour une mesure précise de l'épaisseur afin de déterminer la densité optique à une longueur d'onde choisie à laquelle on associe la dose via un polynôme de calibration.

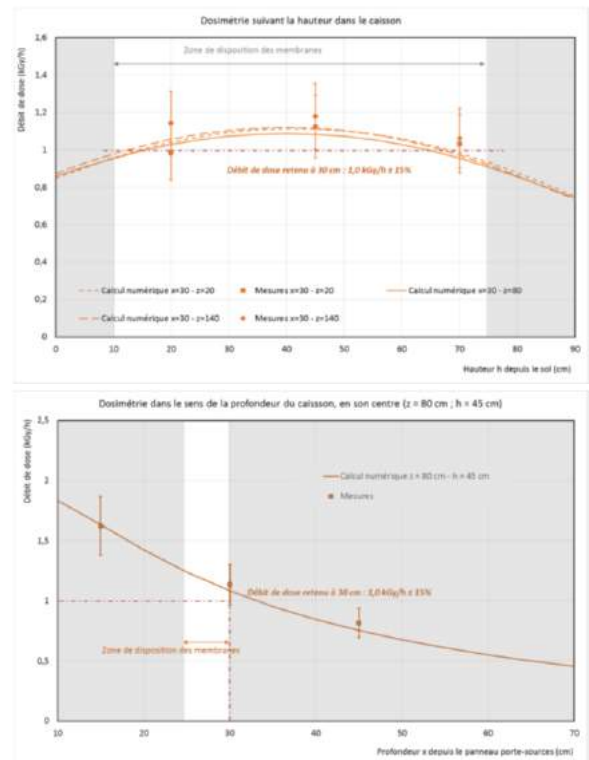
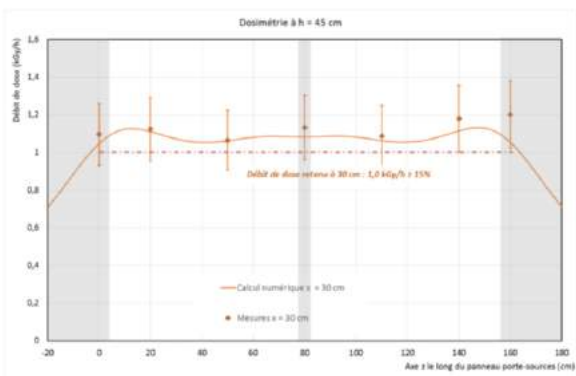


Les doses sont considérées en tant que dose d'ambiance, c'est-à-dire que les modifications du débit de dose par le matériel à irradier, et en particulier l'atténuation dans le matériel lui-même, ne sont pas prises en compte.

Les débits de dose de référence d'ambiance sont mesurés dans l'air, au niveau du plan milieu correspondant à la moitié de la profondeur de l'équipement à irradier. En effet, en tenant compte d'un retournement à mi-irradiation, cela correspond à la zone la moins irradiée après cumul de dose.

Certains cas nécessitent de réaliser une dosimétrie spécifique, en présence des spécimens. Les pièces très massives en sont un exemple.

Les figures suivantes présentent la comparaison faite avant chaque essai entre la simulation numérique et la dosimétrie préalable en l'absence de spécimen. Les résultats sont donnés dans les trois directions de l'espace. Notons l'excellente corrélation des résultats.



Les résultats de la dosimétrie permettent donc de placer le spécimen dans l'irradiateur en un point donné, où il subira un débit de dose connu. Reste alors à définir la durée d'exposition. Le cumul de dose est atteint à la fin du temps d'exposition retenu.

Il est d'usage de retourner les pièces à mi-irradiation, afin d'exposer le matériel de la manière la plus homogène possible.

A la fin de l'irradiation, le produit testé peut être immédiatement inspecté, il n'est pas radioactif.

Effets de l'irradiation sur les matériaux

Les matériaux réagissent différemment selon leur nature. Les polymères sont les plus sensibles. Citons le polytétrafluoroéthylène, le caoutchouc ou le polypropylène. Ces matériaux couramment utilisés pour réaliser des étanchéités ou des isolations électriques sont donc très vulnérables. Leur souplesse et leurs propriétés mécaniques se dégradent rapidement. Ils deviennent cassants.

Il en va de même pour les peintures et les vernis. Au-delà de l'aspect esthétique, c'est surtout l'altération des vertus protectrices qui est à observer. Un vernis isolant peut durcir et craqueler jusqu'à laisser passer le courant électrique.

Tout essai d'irradiation sera donc sanctionné par un contrôle visuel et des mesures spécifiques au produit testé : résistance d'isolement, rigidité diélectrique, étanchéité, temps de réponse, etc.

Conclusion

Tout essai d'irradiation nécessite une approche personnalisée. L'extrême exigence de nos clients de l'industrie nucléaire ne saurait laisser place à l'approximation. De l'acquisition du besoin jusqu'à la livraison d'un rapport d'essai dûment documenté, le CERG maîtrise les enjeux des qualifications K1 K2 et K3 menés par les industriels ou EDF directement.

Formations 2019

Les dates, au fil des mois.



UN CENTRE D'ÉTUDES & D'ESSAIS

Sessions 2019	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
H1 Initiation aux écoulements en charge			18 au 22 S 12								07 au 11 S 41	
H1 Casablanca Initiation aux écoulements en charge											15 au 17 S 42	
H2 Initiation aux écoulements à surface libre										09 au 13 S 37		
H3 Pompes et Coups de bélier						20 au 23 S 21						02 au 05 S 49
H4 Pompes						20 au 21 S 21						02 au 03 S 49
H5 Coups de bélier						22 au 23 S 21						04 au 05 S 49
H6 Stations de pompage											21 au 24 S 43	
H7 Turbines hydrauliques										24 au 26 S 39		05 au 08 S 45
H8 Multiphasique												18 au 20 S 47
H9 Hydroliennes												16 au 18 S 51
H10 Dysfonctionnements des pompes centrifuges											02 au 03 S 40	
H10 Casablanca Dysfonctionnements des pompes centrifuges												27 au 28 S 48
BVE Bruits et vibrations liés aux écoulements						18 au 20 S 25						

Consultez notre site internet pour télécharger le catalogue complet des formations 2019, vous y trouverez le détail de chaque formation ainsi que les modalités d'inscription. Vous pouvez également retrouver toutes nos anciennes TDF dans la rubrique "Téléchargement".

Une question sur cette lettre d'information ? Une demande concernant un projet ?

Contactez-nous : contact@cerg-fluides.com | +33 (0)4 76 40 90 40

Contact

Besoin d'une formation ?

Contactez **Christine LAMBERT** : christine.lambert@cerg-fluides.com | +33 (0)4 76 40 91 44

Pour tout autre renseignement : www.cerg-fluides.com | www.cerg-lab.com | www.cerg-prod.com