

Liste des priorités de recherche de l'IIF

L'Institut International du Froid (IIF) est une organisation intergouvernementale rassemblant 61 pays de tous les continents, dont le but est de faire progresser et diffuser les connaissances se rapportant aux technologies du froid et à ses applications. Il a organisé son Conseil Science et Technologie en dix commissions, qui reflètent l'ensemble des domaines couverts par le froid.

- A1 – Cryophysique, cryotechnique
- A2 – Liquéfaction et séparation des gaz
- B1 – Thermodynamique et processus de transfert
- B2 – Equipements frigorifiques
- C1 – Cryobiologie, cryomédecine
- C2 – Sciences et ingénierie alimentaires
- D1 – Entreposage frigorifique
- D2 – Transports frigorifiques
- E1 – Conditionnement d'air
- E2 – Pompes à chaleur, récupération d'énergie

Ces commissions rassemblent près de 550 experts du monde entier, issus des universités, des centres de recherche et des entreprises.

Le secteur du froid est aujourd'hui confronté à deux défis majeurs : la santé et l'environnement.

La qualité sanitaire des produits alimentaires (mais aussi la quantité disponible) est directement liée à la qualité de sa préservation dans le temps et donc, pour de très nombreux produits indispensables à la santé humaine, à la qualité de la chaîne du froid. Trop de maladies et de décès sont encore dus, dans le monde entier, à un mauvais respect des températures de conservation.

Le froid est également nécessaire pour la préservation de produits de santé tels que les vaccins, les organes à transplanter..., et donc à la médecine, tant préventive que curative. Bien des améliorations restent encore possibles dans ce domaine pour préserver la santé des populations.

L'utilisation du froid s'accroît partout dans le monde, à la fois pour répondre à ces besoins vitaux et pour assurer des conditions correctes de vie et de travail (utilisation de l'air conditionné pour les bâtiments, les véhicules mais aussi les salles informatiques...), sans oublier les domaines de pointe comme l'industrie spatiale où le froid joue un rôle clé. Ainsi, par exemple, le nombre de réfrigérateurs domestiques a presque doublé en 10 ans.

Or, les technologies du froid consomment de grandes quantités d'énergie, près de 15 %, de la consommation mondiale d'électricité. Elles participent donc indirectement au réchauffement planétaire. Elles utilisent par ailleurs des fluides frigorigènes, qui, pour une partie d'entre eux, ont, s'ils s'échappent dans l'atmosphère, un fort potentiel de réchauffement planétaire. Certains autres, bien qu'en voie de régression grâce au Protocole de Montréal, participent à l'appauvrissement de la couche d'ozone s'ils sont relâchés dans l'atmosphère. Ainsi, les technologies du froid doivent s'améliorer continûment selon les objectifs suivants : une plus grande maîtrise et une plus grande sécurité, une meilleure efficacité et une plus faible consommation énergétique.

L'Institut International du Froid a donc décidé, dans son Plan Stratégique, d'établir une liste des priorités de recherche pour les années à venir. Il espère qu'elles inspireront l'ensemble des décideurs dans le domaine de la recherche publique et privée, au sein des gouvernements ou des entreprises, pour financer et promouvoir des technologies à la fois nécessaires pour le bien-être de l'humanité et la préservation de son avenir. Malheureusement, l'IIF n'est pas en position de financer lui-même des recherches.

Pendant un an, l'ensemble des commissions de l'IIF a cherché à définir, séparément puis ensemble, les priorités de recherche permettant d'atteindre ces objectifs. Elles ont été classées tout d'abord commission par commission, domaine du froid par domaine du froid, pour refléter les priorités pour chaque secteur.

Elles ont été aussi rassemblées par grands sujets transversaux, bien des types de recherche étant similaires d'une commission à l'autre et méritant ainsi davantage d'interactions.

Les priorités de recherche s'articulent ainsi autour de sept thèmes :

1/ La compréhension, l'amélioration et l'optimisation des différents équipements et systèmes frigorifiques : bien que les technologies du froid soient, pour certaines, relativement anciennes, les phénomènes de transfert de chaleur restent complexes et nécessitent de mieux modéliser et mesurer les flux et les interactions. Les différentes composantes des systèmes frigorifiques peuvent bénéficier de configurations (conception) mieux adaptées et contribuer à une meilleure efficacité énergétique et une plus grande fiabilité.

2/ La performance de nouveaux systèmes énergétiques : le froid peut aussi être la source et bénéficier de technologies nouvelles, sur la supraconductivité, la liquéfaction des gaz, la cryogénie, les nanotechnologies,... Des systèmes moins classiques de production du froid, tels que l'adsorption-absorption peuvent présenter un nouvel intérêt au vu des contraintes environnementales actuelles ; le couplage entre des techniques classiques et des technologies récentes peut permettre de nouvelles optimisations et doit être exploré.

3/ L'optimisation de la chaîne du froid, y compris les installations connexes : la chaîne du froid depuis la production initiale jusqu'à la distribution est un tout. Il ne suffit pas d'améliorer chacun de ses éléments, il faut que l'ensemble reste cohérent, en matière de consommation énergétique globale, comme en matière de préservation de la température des produits alimentaires par exemple. De nombreux travaux d'approche globale et de contrôle, de mesures et de leur suivi sont nécessaires.

4/ Le comportement des produits vivants réfrigérés ou congelés : tant dans le domaine de la médecine que dans le domaine de l'alimentation, il faut veiller à ce que l'application du froid ne détériore pas physiquement la qualité intrinsèque du produit, même s'il le préserve des contaminations. Les systèmes biologiques sont fragiles.

La congélation des cellules doit être parfaite dans le cas de la conservation des ressources génétiques et des tissus humains ou animaux par exemple. Aucune des qualités des denrées alimentaires (sanitaires, nutritionnelles, sensorielles) ne doit être altérée.

5/ La performance des frigorigènes : au-delà de l'apport que peuvent représenter les travaux précédents, des recherches particulières sont nécessaires pour prouver les propriétés des frigorigènes (CO₂, hydrocarbures...) respectant la couche d'ozone et de potentiel de réchauffement planétaire nul ou très faible, afin d'encourager leur utilisation dans les cas où leur efficacité énergétique et leur coût d'utilisation sont compétitifs.

6/ L'amélioration de l'environnement : toutes les recherches précédentes y participent peu ou prou. Mais des recherches spécifiques sur l'amélioration de l'efficacité énergétique, la sécurité des procédés et des fluides frigorigènes, les systèmes combinés de récupération du froid ou de la chaleur produits par les systèmes énergétiques en vue d'autres utilisations, les systèmes de pompes à chaleur, le stockage d'énergie, le recyclage des matériaux ou la réduction du bruit, etc. doivent participer au défi environnemental global.

7/ Les nouvelles utilisations du froid : il ne suffit pas d'améliorer les systèmes existants. Il faut aussi profiter de l'extraordinaire modification que peut produire l'application du froid sur les matières vivantes ou non pour découvrir de nouveaux usages dans le spatial, en médecine (nouvelles techniques chirurgicales...), pour la conservation des ressources génétiques, répondant ainsi à de nouveaux besoins en matière de matériaux, de santé ou de préservation de la biodiversité.

Le chantier ouvert ainsi est vaste. L'Institut International du Froid s'attachera, pour sa part, à utiliser tous les moyens à sa disposition (conférences scientifiques et techniques, guides d'utilisation, cours, Notes d'information et communiqués officiels...) pour favoriser le développement de ces recherches et assurer la plus grande diffusion possible des techniques qui en découleront.

1. Liste des priorités de recherche par commission

Commission A1 : Cryophysique, cryotechnique

- A1-1. Supraconductivité proche de la température ambiante.
- A1-2. Multiplication par dix des performances/coûts dans le domaine de la conduction des supraconducteurs à haute température.
- A1-3. Supraconducteurs à des températures basses et élevées et aimants pour la production de champs magnétiques intenses.
- A1-4. Etude sur les turbulences dans les flux de fluides cryogéniques et quantiques.
- A1-5. Cryogénérateurs compacts, efficaces et fiables à coût modéré pour dispositifs supraconducteurs (de quelques dixièmes à quelques W, de 4 à 20 K).
- A1-6. Cryogénérateurs efficaces et fiables à prix bas pour applications des supraconducteurs à haute température de conversion d'énergie et de transport (d'une centaine à quelques milliers de W à 65-80 K).
- A1-7. Cryogénérateurs compacts efficaces, de longue durée pour applications spatiales.
- A1-8. Compresseurs plus efficaces pour réfrigérateurs cryogéniques à hélium de puissance élevée (de quelques milliers à quelques dizaines de milliers de W à 4 K).
- A1-9. Production, entreposage et distribution d'hydrogène liquide en tant que vecteur énergétique.
- A1-10. Systèmes d'isolation thermique non sous vide à faibles pertes.
- A1-11. Instrumentation cryogénique dans l'espace.
- A1-12. Cryogénie pour la micro- et nanotechnologie.
- A1-13. Contrôles poussés pour l'optimisation des processus cryogéniques non linéaires.
- A1-14. Sécurité d'approvisionnement et conservation de l'hélium au 21^e siècle.
- A1-15. Projets pilotes dans les applications de supraconductivité pour la conversion et le transport d'énergie efficaces : machines tournantes, transformateurs, stabilisateur de courants supraconducteurs, stockage d'énergie magnétique par supraconductivité.
- A1-16. Projets pilotes dans des applications de cryogénie (combustibles cryogéniques) et de supraconductivité pour un transport performant et écologique : transport terrestre à grande vitesse, transport automobile, maritime et aérospatial.
- A1-17. Développement d'applications cryogéniques et de la supraconductivité en médecine : diagnostics [imagerie par résonance magnétique (IRM) fonctionnelle, MEG (magnétoencéphalographie)], conservation de cellules et d'organes, cryochirurgie (contrôle des taux de chauffage et de refroidissement et des gradients de température).

Commission A2 : Liquéfaction et séparation des gaz

- A2-1. Liquéfacteurs compacts de gaz naturels liquéfiés (GNL) pour une exploitation efficace de puits de gaz naturel locaux et dispersés.
- A2-2. Liquéfaction de gaz naturel par réfrigérateurs thermoacoustiques à tube à pulsation.
- A2-3. Cycles à mélanges de frigorigènes pour la liquéfaction d'azote.
- A2-4. Liquéfacteurs de GNL compacts pour l'accumulation et le stockage d'énergie pour l'alimentation en carburant des véhicules.
- A2-5. Augmentation de la sécurité dans des processus de liquéfaction du GNL par l'utilisation de frigorigènes non hydrocarbonés.
- A2-6. Processus de GNL alliant sécurité et intégrité environnementales les plus élevées possibles (conception durable).
- A2-7. Amélioration de l'efficacité des processus/cycles de liquéfaction et de reliquéfaction, par exemple l'hydrogène ou l'hélium.
- A2-8. Dégazeurs pour l'adsorption du gaz au repos azote/oxygène dans l'espace vide des cuves de GNL.
- A2-9. Développement d'une infrastructure multinationale de GNL pour la fourniture des régions non desservies par les gazoducs.
- A2-10. Développement des systèmes de véhicules au GNL.
- A2-11. Isolation efficace des réservoirs de carburants des véhicules à l'hydrogène liquide.
- A2-12. Cuves de stockage sans pertes de gaz liquéfiés cryogéniques fonctionnant à l'aide de cryogénérateurs.
- A2-13. Procédés de régénération pour l'extraction et la distribution du froid par l'évaporation de GNL pour utilisation domestique ou industrielle.
- A2-14. Récupération et entreposage sûr et durable du CO₂ provenant des gaz des mousses dans des centrales.
- A2-15. Normalisation et poursuite du développement et de l'utilisation de la cryochirurgie et du traitement cryogénique des maladies de la peau.

Commission B1 : Thermodynamique et processus de transfert

- B1-1. Modélisation des propriétés thermodynamiques des hydrocarbures et de leurs mélanges.
- B1-2. Mesures des propriétés de transport et corrélations.
- B1-3. Micro-effets sur les parois solides afin d'améliorer le transfert de masse et de chaleur dans les microstructures.
- B1-4. Transfert de chaleur et de masse dans les milieux poreux, en particulier modèles à échelle microscopique pour le transport de l'humidité.

- B1-5. Transfert de chaleur et de masse avec changement de phase solide/liquide.
- B1-6. Isolation sous vide ou sous vide assisté.
- B1-7. Evaluation du cycle de vie de différents systèmes d'isolation.
- B1-8. Définition des « systèmes de référence binaires frigorigène-huile ».
- B1-9. Simulation du transfert de chaleur et de masse pour des systèmes de référence binaires frigorigène-huile.
- B1-10. Evaluation thermodynamique de différents cycles frigorifiques ne faisant pas appel à la compression de vapeur.
- B1-11. Concepts universels avancés en remplacement de TEWI et/ou LCCP (performance climatique le long du cycle de vie).
- B1-12. Harmonisation des tests d'inflammabilité des frigorigènes.

Commission B2 : Equipements frigorifiques

- B2-1. Définition et mise en œuvre d'options à haute efficacité énergétique.
- B2-2. Conception de systèmes avec charge minimale de frigorigène.
- B2-3. Conception de compresseurs de pointe :
 - a) recherche fondamentale sur les facteurs qui ont un impact sur la taille des gouttelettes d'huile
 - b) compréhension fondamentale d'éléments limitant la performance des compresseurs à faible écart de température
 - c) méthodologie de la variation de puissance.
- B2-4. Méthodes pour mesurer le taux de circulation et la rétention d'huile dans les systèmes frigorifiques commerciaux.
- B2-5. Méthodes fiables de validation de performance comparée entre le stade de la « conception » et celui de la « construction ».
- B2-6. Options de conception pour évaporateurs au CO₂ de pointe.
- B2-7. Conception des procédés, des composants et des systèmes pour la liquéfaction de gaz à petite échelle.
- B2-8. Nouveaux procédés pour la production de coulis de glace.
- B2-9. Simulation dynamique d'évaporateurs lors du givrage et du dégivrage.
- B2-10. Systèmes à compression/détente combinés.
- B2-11. Comportement dynamique des liquides au sein des tubes.
- B2-12. Micro/nano systèmes frigorifiques et leurs composants.

Commission C1 : Cryobiologie, cryomédecine

- C1-1. Vitrification (compréhension des mécanismes).
- C1-2. Vitrification (études pour adapter les procédures).
- C1-3. Application de la vitrification aux petits organes.
- C1-4. Application des procédures de cryoconservation aux gamètes et embryons.
- C1-5. Application de la cryobiologie pour conserver les collections génétiques.
- C1-6. Application de la cryobiologie pour la reproduction aux populations en voie de disparition.
- C1-7. Cryothérapie dans les traitements des cancers.
- C1-8. Cryothérapie par laser à très haute fréquence pour maladies vasculaires congénitales.
- C1-9. Etudes de mélanges de solutés pour la cryoconservation.
- C1-10. Mécanismes de tolérance pour la congélation intra cellulaire et extra cellulaire.
- C1-11. Choix de matériel génétique exploitable dans les cryobanques.
- C1-12. Contrôle et manipulation de la dimension et de la localisation de cristaux de glace qui seront formés dans des systèmes biologiques.

Commission C2 : Sciences et ingénierie alimentaires

- C2-1. Modélisation mathématique des procédés de refroidissement et de congélation des aliments :
 - a) transfert de chaleur et de masse dans des milieux poreux et hétérogènes
 - b) modèles de turbulence
 - c) modèles d'identification des particules pour la contamination
 - d) validation des calculs de dynamique des fluides et normalisation des méthodes de validation
 - e) modèles multi-échelles pour le transport de chaleur et d'humidité
 - f) logiciels conviviaux
 - g) intégration avec logiciels de microbiologie prévisionnelle.
- C2-2. Propriétés thermophysiques et transport d'humidité, modèles de prévision.
- C2-3. Données sur les fluctuations de température dans la chaîne du froid, la performance des systèmes frigorifiques (y compris domestiques) en termes de température, uniformité d'écoulement de l'air, humidité.
- C2-4. Intégrateurs temps-température pour produits avec une durée de vie courte.
- C2-5. Traçabilité :

- a) identification par radiofréquences
 - b) recueil des données autonomes et transmission des informations sur la chaîne du froid
 - c) couplage avec modèles de changement de qualité.
- C2-6. Harmonisation des critères de sécurité pour différentes applications et base scientifique (par exemple : temps de refroidissement maximum...).
- C2-7. Réfrigérateurs et congélateurs intelligents avec capteurs additionnels et connexion à internet.
- C2-8. Emballages intelligents.
- C2-9. Paradigmes innovants de contrôle dynamique pour entreposage sous atmosphère contrôlée.
- C2-10. Outils de gestion du risque dans la chaîne du froid.
- C2-11. Technologies alternatives de désinfestation et de décontamination.
- C2-12. Technologies de conservation accessoires (en complément du froid, par exemple : rayonnement électronique, haute pression...).
- C2-13. Etude de l'état de la structure de la crème glacée ainsi que les propriétés physiques et chimiques de la crème glacée, indices microbiologiques et organoleptiques lors d'un entreposage à -18 , -24 et -30°C .
- C2-14. Echange de chaleur et de masse dans la réfrigération de produits alimentaires dans des milieux liquides multicomposants.

Commission D1 : Entreposage frigorifique

- D1-1. Caractérisation du vieillissement de l'isolation des entrepôts frigorifiques.
- D1-2. Impact de ruptures dans la chaîne du froid sur la qualité des produits.
- D1-3. Exactitude et fiabilité des technologies de « suivi et détection » utilisées dans la chaîne du froid.
- D1-4. Etude et collecte des données des coefficients de transfert de chaleur surfaciques dans différents meubles de vente pour des géométries d'aliments spécifiques.
- D1-5. Etude sur la précision des indicateurs de température disponibles et intégrateurs temps-température pour le contrôle de la chaîne du froid.
- D1-6. Optimisation de la chaîne du froid :
 a) modélisation et efficacité énergétique
 b) rapport entre le froid et la santé
 c) impact des ruptures.
- D1-7. Types de frigorigènes pour la chaîne du froid à l'échelle mondiale.
- D1-8. Cogénération ou trigénération dans la chaîne du froid.
- D1-9. Conservation de l'énergie dans la chaîne du froid (exemple : efficacité énergétique des systèmes dans les supermarchés) :
 a) système d'étiquetage énergétique
 b) programmes de calcul de la consommation annoncée annuelle d'énergie
 c) systèmes de contrôle frigorifique en vue d'économies d'énergie.
- D1-10. Sécurité des frigorigènes selon les applications d'entreposage : développement de normes mondiales.
- D1-11. Caractérisation du débit d'air dans les applications d'entreposage frigorifique :
 a) entrepôts frigorifiques
 b) meubles de vente réfrigérés.
- D1-12. Etudes sur le confort du client dans les zones froides des supermarchés.
- D1-13. Méthodes de prérefrigération et leurs applications dans l'entreposage frigorifique.
- D1-14. Etude sur l'interaction des systèmes d'emballage avec le produit qu'ils contiennent et l'environnement qui les entoure.

Commission D2 : Transports frigorifiques

- D2-1. Nouveaux matériaux d'isolation et agents gonflants dans le transport frigorifique :
 a) vieillissement de matériaux d'isolation dans les véhicules isolés
 b) impact du vieillissement des agents gonflants sur la perméabilité superficielle et sur les écrans pare-vapeurs.
- D2-2. Systèmes et méthodologies pour la conservation d'énergie et efficacité énergétique :
 a) systèmes d'étiquetage énergétique
 b) programmes de calcul de la consommation annuelle de l'énergie et analyse du coût du cycle de vie
 c) demande de froid pour les prochains 10-15 ans
 d) systèmes de contrôle frigorifique en vue d'économies d'énergie
 e) systèmes d'économies d'énergie
 f) utilisation de la réserve frigorifique des combustibles gazeux de type hydrocarbure dans les installations frigorifiques
 g) optimisation des systèmes d'entreposage frigorifique solide et liquide
 h) réduction de la charge thermique et du transfert de chaleur par rayonnement dans les véhicules et emballages de transport frigorifique.
- D2-3. Caractérisation du débit d'air dans les applications du transport frigorifique :
 a) température et circulation d'air dans le transport frigorifique

- b) température et circulation d'air dans des systèmes de transport multitempératures
 - c) simulation et contrôle des conditions du transport frigorifique
 - d) nouveaux logiciels de simulation.
- D2-4.** Recherche et contrôle de la logistique de la chaîne du froid :
- a) traçabilité des produits alimentaires transportés
 - b) recherche et développement des systèmes d'interface entre l'entreposage frigorifique, la vente au détail et le transport ; livraison à domicile et individualisée
 - c) systèmes de communication pour le suivi et contrôle des températures et de la qualité des produits lors du transport
 - d) étude sur les possibilités concernant l'emballage pour optimiser la taille/volume et la qualité du produit afin de permettre l'entreposage et le transport de plus de produits alimentaires dans moins d'espace.
- D2-5.** Conteneurisation :
- a) recherche et développement des conteneurs frigorifiques du transport aérien et des sous-systèmes
 - b) recherche et développement des conteneurs non-ISO, principalement conteneurs de faible dimension
 - c) normalisation des conteneurs de faible dimension
 - d) tests spécifiques pour conteneurs de faible dimension
 - e) caisses mobiles.
- D2-6.** Fiabilité des systèmes frigorifiques pour le transport maritime :
- a) besoin de systèmes plus petits et plus efficaces à sûreté intégrée
 - b) besoins de performance à températures extérieures élevées
 - c) développement de systèmes sous atmosphère contrôlée pour conteneurs de transport maritime.
- D2-7.** Approche environnementale du transport frigorifique :
- a) recyclage de matériaux pour la fabrication de caisses isolées, nouveaux matériaux recyclables
 - b) réduction d'émissions sonores des unités frigorifiques dans le transport frigorifique
 - c) identification et caractérisation des mécanismes de fuites dans les équipements frigorifiques et développement de technologies pour quantifier, réduire, éliminer et/ou boucher ces fuites
 - d) vieillissement et entretien des unités frigorifiques.
- D2-8.** Qualité des produits transportés :
- a) méthodes de prérefrigération et leur application dans le transport frigorifique
 - b) nouveaux produits alimentaires périssables et autres produits périssables (vaccins, médicaments, fleurs, cosmétiques, œuvres d'art, films photographiques et cinématographiques) et leurs conditions de transport
 - c) conditions de contrôles de température
 - d) pertes de poids des produits alimentaires périssables lors du transport frigorifique
 - e) utilisation d'atmosphères contrôlées dans le transport frigorifique.
- D2-9.** Performance des véhicules frigorifiques :
- a) performance lors de trajets à grande vitesse et pour d'autres conditions défavorables de transport
 - b) corrélations entre les résultats des tests et les situations réelles
 - c) mise en place de contrôles non-ATP
 - d) mise en place de normes pour conteneurs miniatures
 - e) mesures « in situ » simples de coefficients locaux de transfert de chaleur
 - f) contrôles pour systèmes multitempératures et à plusieurs compartiments.
- D2-10.** Solutions spécifiques pour les transports frigorifiques dans les pays chauds et/ou en développement :
- a) utilisation de matériaux locaux
 - b) normes et contrôles spécifiques
 - c) écrans contre le rayonnement
 - d) refroidissement nocturne et stockage de l'énergie.

Commission E1 : Conditionnement d'air

- E1-1.** Techniques basées sur l'Internet ou techniques sans fil de diagnostic/pronostic concernant les défauts de détection, l'efficacité énergétique, la qualité d'air intérieur et le coût des installations de refroidissement et de systèmes d'eau glacée.
- E1-2.** Stratégie de contrôle pour optimisation de la performance des systèmes d'eau glacée.
- E1-3.** Modèle d'émulation universel des différents systèmes de refroidissement/chauffage.
- E1-4.** Stratégie de contrôle des refroidisseurs fonctionnant au sein des systèmes d'eau glacée à débit primaire variable.
- E1-5.** Installation alternative de conditionnement d'air fonctionnant au CO₂ pour véhicules.
- E1-6.** Mode opératoire pour refroidisseurs utilisant une tour de refroidissement comme économiseur lors de la période de charge partielle.
- E1-7.** Etude de faisabilité sur des possibilités d'utiliser une pompe à chaleur air-air dans les climats froids.
- E1-8.** Conception de l'outillage et stratégie de contrôle d'un système hydraulique de ventilo-convecteurs à batterie sèche dans des immeubles de bureaux afin d'améliorer la qualité de l'air.
- E1-9.** Stratégies de fonctionnement fondées sur les aspects économiques des systèmes de conditionnement d'air, de chauffage et de production d'électricité (trigénération) des immeubles.
- E1-10.** Avancées dans la technologie de stockage d'énergie dans les immeubles équipés de conditionnement d'air.

- E1-11. Développement de produits plus performants et de systèmes épurateurs d'air.
- E1-12. Stratégies de contrôle pour le contrôle simultané et/ou autonome de température et d'humidité.
- E1-13. Méthodologie universelle pour l'évaluation de la LCCP (performance climatique le long du cycle de vie) des systèmes de conditionnement d'air.
- E1-14. Développement de systèmes à sorption et à absorption.
- E1-15. Minimisation de la charge thermique transférée des systèmes de conditionnement d'air des immeubles.

Commission E2 : Pompes à chaleur, récupération d'énergie

- E2-1. Efficacité énergétique du chauffage et du refroidissement des immeubles grâce aux pompes à chaleur.
- E2-2. Systèmes à sorption (absorption, adsorption, adsorption-refroidissement par évaporation) activés par combustible, chaleur récupérée, chaleur issue du chauffage urbain et énergie renouvelable (solaire, biomasse).
- E2-3. Fluides actifs.
- E2-4. Amélioration des composants.
- E2-5. Amélioration des unités de pompes à chaleur.
- E2-6. Amélioration des systèmes.
- E2-7. Pompes à chaleur dans l'industrie utilisant notamment des fluides à températures élevées.
- E2-8. Pompes à chaleur en tant que constituants du système énergétique : effets environnementaux liés à l'efficacité des pompes à chaleur, efficacité de la production d'électricité.
- E2-9. Normes et réglementations ayant un impact sur l'utilisation des pompes à chaleur selon les régions.

2. Liste des priorités de recherche par thème

1/ La compréhension, l'amélioration et l'optimisation des différents équipements et systèmes frigorifiques

- A2-8. Dégazeurs pour l'adsorption du gaz au repos azote/oxygène dans l'espace vide des cuves de GNL.
- A2-9. Développement d'une infrastructure multinationale de GNL pour la fourniture des régions non desservies par les gazoducs.
- A2-10. Développement des systèmes de véhicules au GNL.
- A2-12. Cuves de stockage sans pertes de gaz liquéfiés cryogéniques fonctionnant à l'aide de cryogénérateurs.
- B1-2. Mesures des propriétés de transport et corrélations.
- B1-3. Micro-effets sur les parois solides afin d'améliorer le transfert de masse et de chaleur dans les microstructures.
- B1-4. Transfert de chaleur et de masse dans les milieux poreux, en particulier modèles à échelle microscopique pour le transport de l'humidité.
- B1-5. Transfert de chaleur et de masse avec changement de phase solide/liquide.
- B1-6. Isolation sous vide ou sous vide assisté.
- B1-8. Définition des « systèmes de référence binaires frigorigène-huile ».
- B1-9. Simulation du transfert de chaleur et de masse pour des systèmes de référence binaires frigorigène-huile.
- B2-3. Conception de compresseurs de pointe :
 - a) recherche fondamentale sur les facteurs qui ont un impact sur la taille des gouttelettes d'huile
 - b) compréhension fondamentale d'éléments limitant la performance des compresseurs à faible écart de température
 - c) méthodologie de la variation de puissance.
- B2-4. Méthodes pour mesurer le taux de circulation et la rétention d'huile dans les systèmes frigorifiques commerciaux.
- B2-5. Méthodes fiables de validation de performance comparée entre le stade de la « conception » et celui de la « construction ».
- B2-9. Simulation dynamique d'évaporateurs lors du givrage et du dégivrage.
- B2-10. Systèmes à compression/détente combinés.
- B2-11. Comportement dynamique des liquides au sein des tubes.
- C1-1. Vitrification (compréhension des mécanismes).
- C2-1. Modélisation mathématique des procédés de refroidissement et de congélation des aliments :
 - a) transfert de chaleur et de masse dans des milieux poreux et hétérogènes
 - b) modèles de turbulence
 - c) modèles d'identification des particules pour la contamination
 - d) validation des calculs de dynamique des fluides et normalisation des méthodes de validation
 - e) modèles multi-échelles pour le transport de chaleur et d'humidité
 - f) logiciels conviviaux
 - g) intégration avec logiciels de microbiologie prévisionnelle.
- C2-14. Echange de chaleur et de masse dans la réfrigération de produits alimentaires dans des milieux liquides multicomposants.
- D1-4. Etude et collecte des données des coefficients de transfert de chaleur surfaciques dans différents meubles de vente pour des géométries d'aliments spécifiques.
- D1-11. Caractérisation du débit d'air dans les applications d'entreposage frigorifique :
 - a) entrepôts frigorifiques
 - b) meubles de vente réfrigérés.
- D2-3. Caractérisation du débit d'air dans les applications du transport frigorifique :
 - a) température et circulation d'air dans le transport frigorifique
 - b) température et circulation d'air dans des systèmes de transport multitempératures
 - c) simulation et contrôle des conditions du transport frigorifique

- d) nouveaux logiciels de simulation.
- D2-5. Conteneurisation :
 - a) recherche et développement des conteneurs frigorifiques du transport aérien et des sous-systèmes
 - b) recherche et développement des conteneurs non-ISO, principalement conteneurs de faible dimension
 - c) normalisation des conteneurs de faible dimension
 - d) tests spécifiques pour conteneurs de faible dimension
 - e) caisses mobiles.
- D2-6. Fiabilité des systèmes frigorifiques pour le transport maritime :
 - a) besoin de systèmes plus petits et plus efficaces à sûreté intégrée
 - b) besoins de performance à températures élevées à l'extérieur
 - c) développement de systèmes sous atmosphère contrôlée pour conteneurs de transportation maritime.
- D2-9. Performance des véhicules frigorifiques :
 - a) performance lors de trajets à grande vitesse et pour d'autres conditions défavorables de transport
 - b) corrélations entre les résultats des tests et les situations réelles
 - c) mise en place de contrôles non-ATP
 - d) mise en place de normes pour conteneurs miniatures
 - e) mesures « in situ » simples de coefficients locaux de transfert de chaleur
 - f) contrôles pour systèmes multitempératures et à plusieurs compartiments.
- E1-3. Modèle d'émulation universel des différents systèmes de refroidissement/chauffage.
- E1-11. Développement de produits plus performants et de systèmes épurateurs d'air.
- E1-15. Minimisation de la charge thermique transférée des systèmes de conditionnement d'air des immeubles.
- E2-4. Amélioration des composants.
- E2-5. Amélioration des unités de pompes à chaleur.
- E2-6. Amélioration des systèmes.
- E2-7. Pompes à chaleur dans l'industrie utilisant notamment des fluides à températures élevées.
- E2-9. Normes et réglementations ayant un impact sur l'utilisation des pompes à chaleur selon les régions.

2/ La performance de nouveaux systèmes énergétiques

- A1-1. Supraconductivité proche de la température ambiante.
- A1-2. Multiplication par dix des performances/coûts dans le domaine de la conduction des supraconducteurs à haute température.
- A1-3. Supraconducteurs à des températures basses et élevées et aimants pour la production de champs magnétiques intenses.
- A1-4. Etude sur les turbulences dans les flux de fluides cryogéniques et quantiques.
- A1-5. Cryogénérateurs compacts, efficaces et fiables à coût modéré pour dispositifs supraconducteurs (de quelques dixièmes à quelques W, de 4 à 20 K).
- A1-6. Cryogénérateurs efficaces et fiables à prix bas pour applications des supraconducteurs à haute température de conversion d'énergie et de transport (d'une centaine à quelques milliers de W à 65-80 K).
- A1-7. Cryogénérateurs compacts efficaces, de longue durée pour applications spatiales.
- A1-8. Compresseurs plus efficaces pour réfrigérateurs cryogéniques à hélium de puissance élevée (de quelques milliers à quelques dizaines de milliers de W à 4 K).
- A1-9. Production, entreposage et distribution d'hydrogène liquide en tant que vecteur énergétique.
- A1-13. Contrôles poussés pour l'optimisation des processus cryogéniques non linéaires.
- A1-14. Sécurité d'approvisionnement et conservation de l'hélium au 21^e siècle.
- A1-15. Projets pilotes dans les applications de supraconductivité pour la conversion et le transport d'énergie efficaces : machines tournantes, transformateurs, stabilisateur de courants supraconducteurs, stockage d'énergie magnétique par supraconductivité.
- A1-16. Projets pilotes dans des applications de cryogénie (combustibles cryogéniques) et de supraconductivité pour un transport performant et écologique : transport terrestre à grande vitesse, transport automobile, maritime et aérospatial.
- A2-1. Liquéfacteurs compacts de gaz naturels liquéfiés (GNL) pour une exploitation efficace de puits de gaz naturel locaux et dispersés.
- A2-2. Liquéfaction de gaz naturel par réfrigérateurs thermoacoustiques à tube à pulsation.
- A2-3. Cycles à mélanges de frigorigènes pour la liquéfaction d'azote.
- A2-4. Liquéfacteurs de GNL compacts pour l'accumulation et le stockage d'énergie pour l'alimentation en carburant des véhicules.
- A2-7. Amélioration de l'efficacité des processus/cycles de liquéfaction et de reliquéfaction, par exemple l'hydrogène ou l'hélium.
- A2-11. Isolation efficace des réservoirs de carburants des véhicules à l'hydrogène liquide.
- B1-10. Evaluation thermodynamique de différents cycles frigorifiques ne faisant pas appel à la compression de vapeur.
- B2-7. Conception des procédés, des composants et des systèmes pour la liquéfaction de gaz à petite échelle.
- B2-8. Nouveaux procédés pour la production de coulis de glace.
- C2-12. Technologies de conservation accessoires (en complément du froid, par exemple : rayonnement électronique, haute pression...).
- D1-13. Méthodes de prérefrigération et leurs applications dans l'entreposage frigorifique.
- E1-14. Développement de systèmes à sorption et à absorption.

3/ L'optimisation de la chaîne du froid, y compris les installations connexes

- A1-10. Systèmes d'isolation thermique non sous vide à faibles pertes.
- A1-11. Instrumentation cryogénique dans l'espace.
- B1-7. Evaluation du cycle de vie de différents systèmes d'isolation.
- C2-3. Données sur les fluctuations de température dans la chaîne du froid, la performance des systèmes frigorifiques (y compris domestiques) en termes de température, uniformité d'écoulement de l'air, humidité.
- C2-5. Traçabilité :
 - a) identification par radiofréquences

- b) recueil des données autonomes et transmission des informations sur la chaîne du froid
- c) couplage avec modèles de changement de qualité.
- C2-6. Harmonisation des critères de sécurité pour différentes applications et base scientifique (par exemple : temps de refroidissement maximum...).
- C2-7. Réfrigérateurs et congélateurs intelligents avec capteurs additionnels et connexion à internet.
- C2-8. Emballages intelligents.
- C2-9. Paradigmes innovants de contrôle dynamique pour entreposage sous atmosphère contrôlée.
- C2-10. Outils de gestion du risque dans la chaîne du froid.
- D1-1. Caractérisation du vieillissement de l'isolation des entrepôts frigorifiques.
- D1-3. Exactitude et fiabilité de technologies de « suivi et détection » utilisées dans la chaîne du froid.
- D1-5. Etude sur la précision des indicateurs de température disponibles et intégrateurs temps-température pour le contrôle de la chaîne du froid.
- D1-6. Optimisation de la chaîne du froid :
 - a) modélisation et efficacité énergétique
 - b) rapport entre le froid et la santé
 - c) impact des ruptures.
- D1-14. Etude sur l'interaction des systèmes d'emballage avec le produit qu'ils contiennent et l'environnement qui les entoure.
- D2-1. Nouveaux matériaux d'isolation et agents gonflants dans le transport frigorifique :
 - a) vieillissement de matériaux d'isolation dans les véhicules isolés
 - b) impact du vieillissement des agents gonflants sur la perméabilité superficielle et sur les écrans pare-vapeurs.
- D2-4. Recherche et contrôle de la logistique de la chaîne du froid :
 - a) traçabilité des produits alimentaires transportés
 - b) recherche et développement des systèmes d'interface entre l'entreposage frigorifique, la vente au détail et le transport ; livraison à domicile et individualisée
 - c) systèmes de communication pour le suivi et contrôle des températures et de la qualité des produits lors du transport
 - d) étude sur les possibilités concernant l'emballage pour optimiser la taille/volume et la qualité du produit afin de permettre l'entreposage et le transport de plus de produits alimentaires dans moins d'espace.
- D2-10. Solutions spécifiques pour les transports frigorifiques dans les pays chauds et/ou en développement :
 - a) utilisation de matériaux locaux
 - b) normes et contrôles spécifiques
 - c) écrans contre le rayonnement
 - d) refroidissement nocturne et stockage de l'énergie.
- E1-1. Techniques basées sur l'Internet ou techniques sans fil de diagnostic/pronostic, concernant les défauts de détection, l'efficacité énergétique, la qualité d'air intérieur et le coût des installations de refroidissement et de systèmes d'eau glacée.
- E1-2. Stratégie de contrôle pour optimisation de la performance des systèmes d'eau glacée.
- E1-4. Stratégie de contrôle des refroidisseurs fonctionnant au sein des systèmes d'eau glacée à débit primaire variable.
- E1-8. Conception de l'outillage et stratégie de contrôle d'un système hydraulique de ventilo-convecteurs à batterie sèche dans des immeubles de bureaux afin d'améliorer la qualité d'air.
- E1-12. Stratégies de contrôle pour le contrôle simultané et/ou autonome de température et d'humidité.

4/ Le comportement des produits vivants réfrigérés ou congelés

- C1-10. Mécanismes de tolérance pour la congélation intra cellulaire et extra cellulaire.
- C1-12. Contrôle et manipulation de la dimension et de la localisation de cristaux de glace qui seront formés dans des systèmes biologiques.
- C2-2. Propriétés thermophysiques et transport d'humidité, modèles de prévision.
- C2-4. Intégrateurs temps-température pour produits avec une durée de vie courte.
- C2-11. Technologies alternatives de désinfestation et de décontamination.
- C2-13. Etude de l'état de la structure de la crème glacée ainsi que les propriétés physiques et chimiques de la crème glacée, indices microbiologiques et organoleptiques lors d'un entreposage à -18, -24 et -30 °C.
- D1-2. Impact de ruptures dans la chaîne du froid sur la qualité des produits.
- D2-8. Qualité des produits transportés :
 - a) méthodes de prérefrigération et leur application dans le transport frigorifique
 - b) nouveaux produits alimentaires périssables et autres produits périssables (vaccins, médicaments, fleurs, cosmétiques, œuvres d'art, films photographiques et cinématographiques) et leurs conditions de transport
 - c) conditions de contrôles de température
 - d) pertes de poids des produits alimentaires périssables lors du transport frigorifique
 - e) utilisation d'atmosphères contrôlées dans le transport frigorifique.

5/ La performance des frigorigènes

- B1-1. Modélisation des propriétés thermodynamiques des hydrocarbures et de leurs mélanges.
- B2-6. Options de conception pour évaporateurs au CO₂ de pointe.
- D1-7. Types de frigorigènes pour la chaîne du froid à l'échelle mondiale.
- E1-5. Installation alternative de conditionnement d'air fonctionnant au CO₂ pour véhicules.
- E2-3. Fluides actifs.

6/ L'amélioration de l'environnement

- A2-5. Augmentation de la sécurité dans des processus de liquéfaction du GNL par l'utilisation de frigorigènes non hydrocarbonés.
- A2-6. Processus de GNL alliant sécurité et intégrité environnementales les plus élevées possibles (conception durable).

- A2-13. Procédés de régénération pour l'extraction et la distribution du froid par l'évaporation de GNL pour utilisation domestique ou industrielle.
- A2-14. Récupération et entreposage sûr et durable du CO₂ provenant des gaz des mousses dans des centrales.
- B1-11. Concepts universels avancés en remplacement de TEWI et/ou LCCP (performance climatique le long du cycle de vie).
- B1-12. Harmonisation des tests d'inflammabilité des frigorigènes.
- B2-1. Définition et mise en œuvre d'options à haute efficacité énergétique.
- B2-2. Conception de systèmes avec charge minimale de frigorigène.
- D1-8. Cogénération ou trigénération dans la chaîne du froid.
- D1-9. Conservation de l'énergie dans la chaîne du froid (exemple : efficacité énergétique des systèmes dans les supermarchés) :
 - a) système d'étiquetage énergétique
 - b) programmes de calcul de la consommation annoncée annuelle d'énergie
 - c) systèmes de contrôle frigorifique en vue d'économies d'énergie.
- D1-10. Sécurité des frigorigènes selon les applications d'entreposage : développement de normes mondiales.
- D1-12. Etudes sur le confort du client dans les zones froides des supermarchés.
- D2-2. Systèmes et méthodologies pour la conservation d'énergie et l'efficacité énergétique :
 - a) systèmes d'étiquetage énergétique
 - b) programmes de calcul de la consommation annuelle de l'énergie et analyse du coût du cycle de vie
 - c) demande de froid pour les prochains 10-15 ans
 - d) systèmes de contrôle frigorifique en vue d'économies d'énergie
 - e) systèmes d'économies d'énergie
 - f) utilisation de la réserve frigorifique des combustibles gazeux de type hydrocarbure dans les installations frigorifiques
 - g) optimisation des systèmes d'entreposage frigorifique solide et liquide
 - h) réduction de la charge thermique et du transfert de chaleur par rayonnement dans les véhicules et emballages de transport frigorifique.
- D2-7. Approche environnementale du transport frigorifique :
 - a) recyclage de matériaux pour la fabrication de caisses isolées, nouveaux matériaux recyclables
 - b) réduction d'émissions sonores des unités frigorifiques dans le transport frigorifique
 - c) identification et caractérisation des mécanismes de fuites dans les équipements frigorifiques et développement de technologies pour quantifier, réduire, éliminer et/ou boucher ces fuites
 - d) vieillissement et entretien des unités frigorifiques.
- E1-6. Mode opératoire pour refroidisseurs utilisant une tour de refroidissement comme économiseur lors de la période de charge partielle.
- E1-7. Etude de faisabilité sur les possibilités d'utiliser une pompe à chaleur air-air dans les climats froids.
- E1-9. Stratégies de fonctionnement fondées sur les aspects économiques de systèmes de conditionnement d'air, de chauffage et de production d'électricité (trigénération) des immeubles.
- E1-10. Avancées dans la technologie de stockage d'énergie dans les immeubles équipés de conditionnement d'air.
- E1-11. Développement de produits plus performants et de systèmes épurateurs d'air.
- E1-12. Stratégies de contrôle pour le contrôle simultané et/ou autonome de température et d'humidité.
- E1-13. Méthodologie universelle pour l'évaluation de la LCCP (performance climatique le long du cycle de vie) des systèmes de conditionnement d'air.
- E2-1. Efficacité énergétique du chauffage et du refroidissement des immeubles grâce aux pompes à chaleur.
- E2-2. Systèmes à sorption (absorption, adsorption, adsorption-refroidissement par évaporation) activés par combustible, chaleur récupérée, chaleur issue du chauffage urbain et énergie renouvelable (solaire, biomasse).
- E2-8. Pompes à chaleur en tant que constituants du système énergétique : effets environnementaux liés à l'efficacité des pompes à chaleur, efficacité de la production d'électricité.

71 Les nouvelles utilisations du froid

- A1-12. Cryogénie pour la micro- et nanotechnologie.
- A1-17. Développement d'applications cryogéniques et de la supraconductivité en médecine : diagnostics [imagerie par résonance magnétique (IRM) fonctionnelle, MEG (magnétoencéphalographie)], de cellules et d'organes, cryochirurgie (contrôle des taux de chauffage et de refroidissement et des gradients de température).
- A2-15. Normalisation et poursuite du développement et de l'utilisation de la cryochirurgie et du traitement cryogénique des maladies de peau.
- B2-12. Micro/nano systèmes frigorifiques et leurs composants.
- C1-2. Vitrification (études pour adapter les procédures).
- C1-3. Application de la vitrification aux petits organes.
- C1-4. Application des procédures de cryoconservation aux gamètes et embryons.
- C1-5. Application de la cryobiologie pour conserver les collections génétiques.
- C1-6. Application de la cryobiologie pour la reproduction aux populations en voie de disparition.
- C1-7. Cryothérapie dans les traitements des cancers.
- C1-8. Cryothérapie par laser à très haute fréquence pour maladies vasculaires congénitales.
- C1-9. Etudes de mélanges de solutés pour la cryoconservation.
- C1-11. Choix de matériel génétique exploitable dans les cryobanques.