



HAL
open science

Évaluation de l'inflammation intestinale par thermographie infrarouge dans une cohorte de Crohn pédiatrique

Yasmine Lamrous

► **To cite this version:**

Yasmine Lamrous. Évaluation de l'inflammation intestinale par thermographie infrarouge dans une cohorte de Crohn pédiatrique. *Pédiatrie*. 2023. dumas-04250036

HAL Id: dumas-04250036

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04250036>

Submitted on 19 Oct 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License



Année 2023



UNIVERSITÉ DE PICARDIE JULES VERNE

FACULTÉ DE MEDECINE D'AMIENS

Évaluation de l'inflammation intestinale par thermographie infrarouge dans une cohorte de Crohn pédiatrique

THÈSE DE MEDECINE (n°2023-89)
Diplôme d'études spécialisées de pédiatrie

Présentée et soutenue publiquement le 11 septembre 2023 par :

LAMROUS Yasmine

Président du jury : Monsieur le Professeur Jean SCHMIDT

Membre du jury : Madame le Docteur Emilie BOUREL-PONCHEL

Membre du jury : Madame le Docteur Maya AMHIS

Directeur de thèse : Monsieur le Professeur Djamal-Dine DJEDDI

Au Président du Jury,

Monsieur le Professeur Jean SCHMIDT

**Professeur des Universités - Praticien Hospitalier
Médecine Interne**

Vous me faites l'honneur de présider ma thèse.

Soyez assuré de ma respectueuse reconnaissance et de mon immense gratitude.

Au Membre du Jury,

Madame le Docteur Emilie BOUREL-PONCHEL

**Maitre de Conférences des Universités - Praticien Hospitalier Explorations
Fonctionnelles du Système Nerveux Pédiatrique**

Vous me faites l'honneur de juger mon travail.

Soyez assurée de ma reconnaissance et de mon profond respect.

Au Membre du Jury,

Madame le Docteur Maya AMHIS

Praticien Hospitalier (Pédiatrie Médicale et Médecine de l'Adolescent)

Je te remercie d'avoir accepté de juger mon travail.

Merci pour ton soutien infaillible depuis le premier jour de mon internat, merci de m'avoir pris sous ton aile et d'avoir été un mentor si exceptionnel. Ta bienveillance et ta patience ont donné un visage inattendu à ces quatre dernières années, et je l'espère aux années à venir.

Sois assurée de ma sincère reconnaissance et de mon profond respect.

A mon Directeur de thèse,

Monsieur le Professeur Djamal-Dine DJEDDI

**Professeur des Universités – Praticien Hospitalier (Pédiatrie)
Chef de Service de Pédiatrie Médicale et Médecine de l'Adolescent**

Pôle "Femme - Couple - Enfant"

Je vous remercie d'avoir accepté de m'encadrer pour ce travail de thèse.

Merci de m'avoir donné l'opportunité de travailler avec vous sur ce sujet.

Merci pour votre patience, votre disponibilité et votre rigueur. Merci pour la qualité de l'enseignement que vous m'avez offert. En espérant poursuivre ma formation à vos côtés.

Soyez assuré de ma sincère reconnaissance et de mon profond respect.

A Mr Degrugillier, ingénieur hospitalier, merci pour l'analyse des images nécessaires à ma thèse. Merci pour votre implication et votre patience. Ce travail n'aurait pas pu être réalisé sans votre investissement.

A Mr Meynier, merci pour votre aide à ma réalisation et à l'interprétation des statistiques de ce travail.

A ma famille,

A ma mère, « ma petite maman », mon modèle. Merci pour ton indéfectible soutien, tes conseils toujours avisés et ta capacité à me comprendre parfois mieux que moi-même. C'est à toi que je dois ce succès, comme les précédents, et probablement les suivants. En espérant un jour t'arriver à la cheville.

A mon père, merci pour ta patience, ton calme et ta sérénité qui ont guidés mes pas depuis mon plus jeune âge.

A mon frère, mon « jumeau », merci pour ta bonne humeur constante, pour ta capacité hors du commun à voir le meilleur et à dédramatiser chaque situation, tu ne cesseras jamais de m'émerveiller. A nos fous rires, nos jeux, notre complicité. Évoluer à tes côtés est une chance inespérée.

A ma sœur, merci pour ton soutien.

A ma tante, « ma petite tata ». Merci d'avoir essuyé mes larmes tant de fois, merci de toujours être cette oreille attentive. Je n'en serais pas là aujourd'hui sans tes capacités d'encouragement hors du commun. The eye of the tiger m'accompagne à chaque échéance.

A mon oncle, merci pour ta bienveillance, ta douceur et ton humour exceptionnel. Merci pour ton accueil et le soin que tu as toujours mis pour que je me sente comme chez moi.

A mon cousin préféré, merci de m'avoir donné ta puce Free et d'avoir accepté de partager ta chambre avec moi. A la team Ish, à nos moments passés et à tous les suivants.

A ma cousine préférée, dont je suis si fière, merci de gérer mes réseaux d'une main de maître, merci pour ton grain de folie et pour ta bonne humeur.

A mes grands-parents, je ne pourrais jamais assez vous remercier pour tout ce que vous avez fait pour moi. Merci pour les valeurs que vous m'avez inculquées, merci pour le temps que vous m'avez consacré, merci pour l'amour dont vous m'avez inondée. J'espère un jour vous rendre ne serait-ce qu'un centième de tout ce que vous m'avez donné.

A ma belle-famille, merci de m'avoir accueillie parmi vous, merci pour votre disponibilité et votre soutien.

A Raphaël, mon mari, mon « baby », l'homme de ma vie, traverser la vie, ma main dans la tienne est une évidence à mes yeux. A la réalisation de nos rêves, à un avenir radieux, toujours à tes côtés.

A mes amis,

A tous mes amis, aux premiers, aux derniers, aux anciens, aux nouveaux, aux amis d'une vie, à ceux qui seront toujours là et à ceux que j'ai perdus, merci d'avoir traversé ma vie. Chacun à sa façon, m'a apporté un trésor inestimable.

A Chloé « l'organisée », **Justine** « la fofolle », **Tey** la « baroudeuse », avec qui j'ai traversé la P1. A ces journées entières à la BSB, aux pigeons qui ont rythmé nos déjeuners devant le Panthéon. Malgré la distance, j'espère qu'on continuera à partager nos succès jusqu'à la fin des temps.

A Élise, à notre coup de foudre amical instantané, à ce week-end à Vendôme théâtre de notre symbiose, merci d'être toi. En espérant continuer à partager le meilleur pour de longues années.

A Hortense, à notre amitié qui dure malgré la distance. Et à nos conversations interminables lorsque l'on se retrouve, comme si on ne s'était jamais vraiment quittées.

A la team ski, nouvellement rebaptisée « la team chablis jacuzzi », à cette tradition qui j'espère perdurera toujours. A nos Karaokés, à nos soirées Sherlock. A nos réussites et nos moments de joie.

A Matthieu dit Toumoux, à Lucien dit Lulu, à Ines, à Sophie, à Nicolas, à Diane, à toute la team LLG, merci de m'avoir fait une place parmi vous. A nos soirées dans le 12eme, à nos week-ends, à nos vacances, aux moments passés et à ceux à venir.

A Amiens, à son lot de rencontres, de copains, d'amitiés.

A Manon, Adeline et Lucie, à notre quatuor sur lequel aucune d'entre nous n'aurait misé. A nos diners larmoyants, nos soirées confessions, nos sessions potins. Merci de m'avoir accompagnée dans cette aventure. La traversée amiénoise n'aurait pas été la même sans vous.

A Sarah et Juliette, mes premières co-internes, c'est sous votre impulsion que le bébé interne que j'étais est devenu grand. Merci pour votre bienveillance, vos conseils avisés et votre bonne humeur.

A Cha, Nat, et Cat, à votre bonne humeur, votre énergie débordante, et votre goût certain pour la fête, à notre virée en terre conquise marseillaise, à nos soirées de débauche passées et à venir.

A Sarah, Antonine, Marie, à nos gardes en réanimation pédiatrique, à votre sang froid, votre rôle de chef de garde tenu à la perfection, vos encouragements et votre enseignement. Je sais que vous serez chacune des réanimatrices de renom.

A Fanny, à Joe, à la Dream Team d'HDJ, à ces 6 mois riches de fous rires, de confessions et de folie. A nos pauses caf' au soleil, à nos soirées bio. C'est auprès de vous que « le travail de bonne heure et de bonne humeur » prend tout son sens.

A Lisa, Sophie, Lina, Hadiza, Antoine et à tous les co internes que je n'ai pas cités, vous avez illuminé mes journées de travail.

A l'équipe de médecine pédiatrique, merci d'avoir suscité en moi une passion pour la gastro pédiatrie, merci d'avoir su la décupler au fil des semestres. Merci pour votre enseignement, votre enthousiasme, votre confiance. Votre abnégation et votre dévouement sont pour moi une source inépuisable d'inspiration.

A l'équipe d'HDJ pédiatrique, qui m'a épaulée si longtemps, merci pour votre rigueur et votre bienveillance.

A l'équipe de réanimation pédiatrique, aux chefs, aux infirmières, merci pour votre enseignement et votre soutien. A ces longues nuits de travail. L'arrivée en garde aura toujours un goût de retour à la maison pour moi.

A l'équipe de pneumo-pédiatrie, merci pour votre enseignement, votre patience et votre bienveillance.

A toutes les équipes médicales que j'ai côtoyées de près ou de loin.

A toutes les infirmier(e)s, aides-soignant(e)s, ASH qui nous accompagnent au quotidien dans le soin.

Aux patients, qui m'apprennent un peu plus chaque jour mon métier.

TABLE DES MATIERES

ABREVIATIONS	14
INTRODUCTION	16
OBJECTIFS DE L'ETUDE	21
I. OBJECTIF PRINCIPAL	21
II. OBJECTIFS SECONDAIRES.....	22
MATERIEL ET METHODES	22
I. NATURE ET POPULATION DE L'ETUDE.....	22
II. CRITERES D'ELIGIBILITE.....	22
III. MISE EN PLACE DU PROTOCOLE DE L'ETUDE	24
<i>III.1. REALISATION DES CLICHES THERMOGRAPHIQUES</i>	24
<i>III.2. ANALYSE DES CLICHES THERMOGRAPHIQUES</i>	25
IV. CRITERES D'EVALUATION.....	29
<i>IV.1. CRITERE D'EVALUATION PRINCIPAL</i>	29
<i>IV.2. CRITERES D'EVALUATIONS SECONDAIRES</i>	29
V. ANALYSES STATISTIQUES	29
<i>V.1. NOMBRE DE PATIENTS A INCLURE</i>	29
<i>V.2. ANALYSE DESCRIPTIVE DE LA POPULATION</i>	30
<i>V.3. ANALYSE DE LA CORRELATION</i>	30
VI. ASPECT ETHIQUE.....	31
RESULTATS	32
I. CARACTERISTIQUES DE LA POPULATION.....	32
II. CARACTERISTIQUES AU MOMENT DE L'INCLUSION	33
III. CORRELATION DES VARIABLES REFLETANT L'INFLAMMATION DIGESTIVE AVEC LE DIFFERENTIEL DE RAYONNEMENT INFRAROUGE.....	37
<i>III.1. CORRELATION ENTRE LA CALPROTECTINE FECALE ET Δ (FID-GLOBAL)</i>	37

<i>III.2. CORRELATION DE L'ATTEINTE ECHOGRAPHIQUE, DE L'ATTEINTE ENDOSCOPIQUE ET DU WPCDAI AVEC Δ (FID-GLOBAL)</i>	39
<i>III.3. CORRELATION DES ASSOCIATIONS DES VARIABLES REFLETANT L'INFLAMMATION DIGESTIVE AVEC LE Δ(FID-GLOBAL)</i>	41
IV. VALEUR SEUIL DE DIFFERENTIEL PREDICTIVE D'UNE ATTEINTE ACTIVE DE LA MALADIE DE CROHN	42
<i>IV.1. VALEUR SEUIL PREDICTIVE D'UNE ELEVATION DE LA CALPROTECTINE FECALE</i>	42
<i>IV.2. VALEUR SEUIL PREDICTIVE D'UNE ATTEINTE ECHOGRAPHIQUE</i>	43
<i>IV.3. VALEUR SEUIL PREDICTIVE D'UNE ATTEINTE ENDOSCOPIQUE</i>	44
DISCUSSION	45
I. CARACTERISTIQUES DE LA POPULATION ETUDIEE	45
II. CORELATION DU DIFFERENTIEL DE RAYONNEMENT INFRAROUGE ET DE LA CALPROTECTINE FECALE	45
III. CORELATION DU DIFFERENTIEL DE RAYONNEMENT INFRAROUGE ET DE L'ATTEINTE ENDOSCOPIQUE DIGESTIVE	47
IV. CORELATION DU DIFFERENTIEL DE RAYONNEMENT INFRAROUGE ET DE L'ATTEINTE ECHOGRAPHIQUE INTESTINALE	48
V. CORELATION DU DIFFERENTIEL DE RAYONNEMENT INFRAROUGE ET DU WPCDAI	49
VI. LIMITES DE L'ETUDE	49
<i>VI.1. NATURE DU DIFFERENTIEL</i>	49
<i>VI.2. PERSPECTIVES</i>	50
CONCLUSION	52
REFERENCES	53
RESUME	59
ABSTRACT	60
ANNEXE	61

ABREVIATIONS

5 ASA : 5 Amino-Salicylé

AINS : Anti-Inflammatoire Non Stéroïdien

Anti TNF alpha: *Anti-Tumor Necrosis Factor Alpha*, anti-facteur de nécrose tumoral
alpha

ASCA: Anticorps Anti-*Saccharomyces Cerevisiae*

AZT : Azathioprine

CDEIS : *Crohn's Disease Endoscopic Index of Severity*, Indice de sévérité des lésions
intestinales provoquées par la maladie de Crohn

CHU : Centre Hospitalier Universitaire

CRP : *C-Reactive Protein*, protéine C réactive

ELISA : *Enzyme-Linked Immunosorbent Assay*, technique d'immunoabsorption par
enzyme liée

EOGD : Endoscopie Oeso-Gastro-Duodénale

ESPGHAN : *The European Society for Paediatric Gastroenterology Hepatology and
Nutrition*, société européenne de gastroentérologie, hépatologie et nutrition
pédiatrique

FID : Fosse Iliaque Droite

IMC : Indice de Masse Corporelle

IR : Infra-Rouge

IRM : Imagerie par Résonance Magnétique

MC : Maladie de Crohn

MICI : Maladie Inflammatoire Chronique de l'Intestin

MTX : Méthotrexate

NEE : Nutrition Entérale Exclusive

pANCA : Anticorps Anti-Cytoplasme des Polynucléaires Neutrophiles à fluorescence péri-nucléaires

RCH : Rectocolite Hémorragique

SES-CD : *Simple Endoscopic Score for Crohn Disease*, Score endoscopique simplifié de la maladie de Crohn

VS : Vitesse de Sédimentation des érythrocytes

wPCDAI : *Weighted Pediatric Crohn Disease Activity Index*, score pondéré pédiatrique d'activité de la maladie de Crohn

INTRODUCTION

Les maladies inflammatoires chroniques de l'intestin (MICI) regroupent la maladie de Crohn (MC), la rectocolite hémorragique (RCH) et la colite indéterminée [1]. Elles évoluent par une succession de poussées et de phases de rémission plus ou moins longues. Les poussées successives peuvent aboutir à des sténoses digestives et/ou à des complications ano-périnéales sévères [2].

Plusieurs études récentes ont souligné une augmentation constante des diagnostics pédiatriques de MICI avec l'existence d'un gradient nord-sud [3].

Les formes pédiatriques en France représentent 15 à 20% de l'ensemble des cas. Leur incidence est estimée à 5 pour 100 000 habitants et augmente ces dernières années [4].

La maladie peut se manifester à n'importe quel moment de la vie. Elle se déclare généralement entre 12 et 15 ans, avec une augmentation des formes précoces, débutant avant l'âge de 6 ans, voire de 2 ans [4].

La MC en particulier, peut atteindre l'ensemble du tube digestif de la bouche à l'anus avec une atteinte segmentaire et focale. L'atteinte la plus fréquente au diagnostic chez l'enfant est iléocolique. Les lésions ano-périnéales sont souvent présentes au diagnostic. Elles précèdent parfois ce dernier de plusieurs années [5]. Cela se manifeste par une altération de l'état général, (asthénie, anorexie), de la diarrhée (plus ou moins glairo-sanglante), des douleurs abdominales, des poussées d'aphtose (buccale ou génitale) associées ou non à des lésions anopérinéales [6]. Les signes extra-digestifs les plus fréquents sont les arthralgies et les signes cutanés en particulier l'érythème noueux [7]. La MC pédiatrique se distingue de la MC de l'adulte par le retentissement parfois considérable sur la croissance staturo-pondérale et la puberté [2,8].

La MC est multifactorielle : à la prédisposition génétique s'ajoutent des facteurs environnementaux, une dysbiose intestinale et/ou un dysfonctionnement immunitaire [9].

Le diagnostic de la MC repose sur un faisceau d'arguments : clinico-biologiques, radiologiques, endoscopiques et anatomopathologiques.

Le bilan biologique retrouve un syndrome inflammatoire avec élévation de la protéine C réactive (CRP) et de la vitesse de sédimentation des érythrocytes (VS). Il existe souvent une anémie inflammatoire qui peut être majorée par la malabsorption provoquée par les atteintes du

tube digestif. D'autres carences peuvent être également retrouvés notamment vitaminiques (en particulier en folates et en vitamine D) mais également une hypoalbuminémie [1].

La calprotectine fécale qui est une protéine libérée localement par les polynucléaires neutrophiles reflète l'inflammation du tube digestif, bien qu'elle ne soit pas spécifique de la MC [10].

Ces éléments indispensables au diagnostic permettent de juger de la gravité de la maladie mais font également partie intégrante du suivi des MC [10].

La présence d'anticorps anti-saccharomyces cerevisiae (ASCA) associée à l'absence d'anticorps anti-cytoplasme des polynucléaires neutrophiles à fluorescence péri-nucléaires (pANCA) orientera plus vers une MC, celle de pANCA vers une RCH [11].

L'échographie abdominale par sa disponibilité et son innocuité est réalisée en première intention en cas de suspicion de MC. Bien qu'elle soit opérateur dépendant de récentes études retrouvent une sensibilité de diagnostic de 70% et une spécificité de 80% [12]. L'entéro IRM permet de localiser et de préciser les atteintes de l'intestin grêle et du colon. L'IRM pelvienne vient préciser les trajets fistuleux, la localisation d'abcès en cas d'atteinte périnéale clinique (13).

L'examen clé permettant de poser le diagnostic de la MC est l'endoscopie digestive. Elle associe l'oesogastroduodenoscopie (réalisée même en l'absence de signes cliniques d'une atteinte digestive haute) et l'iléocoloscopie. Ces examens permettent de faire un état des lieux précis de l'étendue et de la sévérité des lésions [14].

L'iléocoloscopie met en évidence les lésions caractéristiques de la MC : lésions segmentaires ou focales avec intervalles de muqueuse saine, ulcérations aphthoïdes, ulcérations profondes linéaires, aspect pseudo-polypoïde, rétrécissements ou sténoses ; de plus elle précise la localisation de la maladie : atteinte de l'iléon terminal (quasi constante), du colon droit ou pancolique [15].

L'indice de sévérité des lésions intestinales provoquées par la maladie de Crohn (CDEIS) et le Score endoscopique simplifié de la maladie de Crohn (SES-CD) sont les seuls scores endoscopiques validés dans la MC pour évaluer la sévérité de l'atteinte et les lésions intestinales de la MC [17].

Des biopsies étagées des différentes portions du tube digestif sont prélevées et analysées en anatomopathologie. La mise en évidence d'un granulome épithélioïde sans nécrose caséuse oriente fortement le diagnostic vers une MC. L'absence de granulome épithélioïde ne permet pas d'exclure le diagnostic [15].

La prise en charge de la MC pédiatrique a pour objectif l'obtention d'une rémission durable afin d'éviter les complications (sténoses, retard statural...) et d'améliorer la qualité de vie. Des recommandations récentes ont été établies concernant la stratégie thérapeutique à adopter chez les enfants atteints de MC avec des schémas thérapeutiques bien codifiés. La nutrition entérale exclusive (NEE) est recommandée en 1^{ère} intention en traitement d'induction sur une durée de 6 à 8 semaines avant de réintroduire de manière progressive une alimentation orale [18,19]. La corticothérapie orale est indiquée en traitement d'induction de seconde intention dans la MC lorsque la NEE n'est pas possible [18,19].

Les 5 amino-salicylés (5-ASA) ont une action anti-inflammatoire sur la muqueuse intestinale. Ils ne sont pas ou peu utilisés dans la prise en charge de la MC et réservés aux formes coliques pures de faible gravité [18,19].

Les thiopurines, thérapies immunosuppressives, comprenant l'Azathioprine (AZT) et le 6-mercaptopurine sont indiquées comme traitement d'entretien en cas de cortico-dépendance et de maladie évolutive marquée par des poussées fréquentes (au moins 2 poussées annuelles) et sévères [18,19].

Le Méthotrexate (MTX) représente une option thérapeutique dans le maintien de la rémission dont le risque de rechute est considéré comme élevé.

Les anti-facteur de nécrose tumoral alpha (anti-TNF alpha) sont des anticorps monoclonaux recommandés en traitement d'induction et dans le maintien de la rémission chez les patients cortico-dépendants ayant une maladie toujours active malgré une thérapie immunosuppressive. Leur utilisation en 1^{ère} intention est réservée aux formes initialement graves. Dans la MC, c'est le traitement inducteur de choix des formes périnéales fistulisantes actives [18,19].

Le suivi des enfants atteints de MC est global et nécessite une prise en charge spécialisée dans des centres adaptés. Il doit à la fois prendre en compte la nature de la MICI et les particularités de l'enfance et de l'adolescence [8].

L'enjeu est de mettre en place un suivi le plus efficace et le moins invasif possible afin d'initier les modifications thérapeutiques avant que les complications ne s'installent. Actuellement, l'évaluation de l'inflammation digestive repose principalement sur la clinique et des données paracliniques telles que le dosage de la calprotectine fécale ou l'endoscopie digestive [10,14]. L'activité de la maladie dans la MC pédiatrique repose sur des éléments anamnestiques, cliniques et paracliniques tels que le score pondéré d'activité de la MC pédiatrique wPCDAI [1,19]. (*Annexe 5*).

L'ensemble de ces paramètres sont coûteux, invasifs et de disponibilité limitée. Ainsi la thermographie par rayonnement infrarouge (IR), une technologie non invasive et reproductible pourrait présenter un réel intérêt dans l'évaluation et le suivi de la MC.

La thermographie IR par le biais d'une caméra thermique capte le rayonnement émis par un corps et reconstitue une image de l'intensité de ce rayonnement qui est le reflet de la température de ce corps. Plus la radiation émise est importante plus la température est élevée et inversement [20]. La caméra thermique mesure les ondes radiatives émises par le corps, qu'elle traduit ensuite en données de températures [21].

Cette technologie est actuellement utilisée dans plusieurs domaines notamment dans la recherche de déperdition thermique dans le bâtiment mais également dans le domaine du contrôle de fabrication des systèmes de combustion, de propulsion ou de refroidissement, ou encore dans la lutte contre les incendies. Elle est également largement utilisée dans la recherche pour étudier des phénomènes de changement de phase ou certaines réactions thermiques, ou encore pour étudier les phénomènes de chocs thermiques [22]. L'usage de la caméra thermique est également retrouvé dans le domaine du secourisme pour la recherche de victimes dans de larges espaces ou lors d'opérations de sauvetage déblaiement. Elle constitue par ailleurs un outil dans le domaine militaire et de la surveillance par exemple dans des opérations de nuit [23].

L'homme, par des mécanismes de thermorégulations maintient sa température centrale proche de 37 degrés Celsius (°C). La température de la peau est quant à elle variable. Cette

dernière est le reflet de l'activité métabolique et de la vascularisation des organes sous-jacents. L'étude du rayonnement IR permet donc d'apprécier le degré d'inflammation des tissus et des organes sous-jacents [24]. Il est alors possible, avec une sensibilité suffisante du capteur de percevoir les modifications locales de cette activité métabolique, comme dans le cas d'inflammation du tube digestif. Une image thermique du corps humain est une représentation visuelle de la température en surface de la peau. Cette température de surface reflète principalement le transfert de chaleur depuis les organes voire leur inflammation, source de chaleur, jusqu'à la surface de la peau [25]. Ce résultat est encore plus perceptible chez les enfants qui présentent naturellement une épaisseur de peau plus fine et une isolation plus faible [26].

Dans le domaine médical la thermographie IR reste relativement marginale mais certaines études ont montré son intérêt à la fois pour le diagnostic, le suivi et l'apport dans les prises en charges thérapeutiques [27]. L'utilisation des caméras thermiques avait fait l'objet dans les années 1980 de plusieurs études dans diverses spécialités médicales avant d'être mise de côté. Cette technologie connaît un regain d'intérêt ses dernières années expliqué majoritairement par l'évolution technologique permettant d'améliorer la sensibilité fine des images obtenues, et l'utilisation de logiciels d'interprétation plus efficaces [28].

Des recommandations d'utilisation pour le diagnostic et le suivi de divers pathologies et situations cliniques où la composante vasculaire est majoritaire ont été mises en place. C'est ainsi que la thermographie IR a trouvé sa place dans le suivi d'actes thérapeutiques dans des contextes de thrombose, d'ischémie, de greffe ou d'angioplastie [29]. Elle a également été utilisée pour détecter de manière précoce les complications vasculaires et ischémiques survenant chez des patients atteints de diabète de type 2 [30]. En rhumatologie, afin d'apprécier le degré d'inflammation des arthrites et l'efficacité des anti-inflammatoires non stéroïdiens AINS [31], en sénologie, et en dermatologie : cancer de la peau [32], angiome plan, sclérodermie, syndrome de Raynaud [33]; pour le diagnostic, le suivi, l'appréciation de la gravité et l'efficacité thérapeutique. La thermographie a également été utilisées pour la quantification et la gravité des brûlures participant ainsi à la décision thérapeutique de pratiquer une greffe de peau [34]. Une étude a également utilisé une caméra thermique dans l'aide à la lecture de patch tests dans des contextes de diagnostic d'allergies [35]. Son utilisation pour

déterminer l'efficacité de certains gestes thérapeutiques, ou les effets indésirables qui peuvent en découler a également été étudiée notamment en chirurgie vasculaire reconstructrice et en ophtalmologie dans les chirurgies de la cataracte [36].

Des études chez l'adulte et le nouveau-né ont montré l'intérêt d'étudier la cartographie de la température abdominale par imagerie thermique par IR dans les maladies digestives [37]. La thermographie IR est une technique non invasive, sans contact, avec peu de contrainte, permettant en un seul cliché d'apprécier les variations de la température de surface de la peau de l'intégralité de l'abdomen du patient ou de zones plus ciblées. Au contraire d'autres techniques plus contraignantes de mesures locales par sondes augmentant le stress des patients et la quantité des capteurs.

Nous formulons l'hypothèse que dans la MC pédiatrique, l'importance du signal thermique abdominal est corrélée au degré d'inflammation digestive (évalué par la calprotectine fécale, l'échographie abdominale et l'endoscopie digestive) et à l'activité de la maladie évaluée par le score d'activité wPCDAI.

Cette méthode thermographique pourrait permettre une détermination non invasive et quasi instantanée de l'activité de la MC, du degré d'inflammation et de la topographie partielle des lésions inflammatoires chez l'enfant.

OBJECTIFS DE L'ETUDE

I. OBJECTIF PRINCIPAL

Notre objectif principal était de mettre en évidence une corrélation entre le degré d'inflammation digestive estimée par le taux de calprotectine fécale et la quantification de la radiation IR abdominale.

II. OBJECTIFS SECONDAIRES

Nos objectifs secondaires étaient :

- De rechercher une corrélation entre l'inflammation digestive retrouvée à l'échographie abdominale ou à l'endoscopie digestive et la quantification de la radiation IR abdominale.
- De rechercher une corrélation entre l'activité de la MC estimée par le score d'activité clinico-biologique wPCDAI et la quantification de la radiation IR abdominale.

MATERIEL ET METHODES

I. NATURE ET POPULATION DE L'ETUDE

Nous avons mené une étude prospective, monocentrique, non interventionnelle, incluant des enfants âgés de 4 à 17 ans suivis pour une MC au CHU Amiens-Picardie. Les patients ont été recrutés entre juin 2023 et août 2023.

II. CRITERES D'ELIGIBILITE

Les critères d'inclusion étaient :

- Un âge compris entre 4 et 17 ans.
- Un diagnostic de MC selon les critères de Porto (21).
- Un suivi en gastro-entérologie pédiatrique au CHU Amiens Picardie.
- Une absence d'opposition des parents ou de l'enfant à la participation de l'enfant à l'étude.

Les critères de non-inclusion étaient :

- Patients atteints d'une autre maladie de l'intestin que la MC.
- Chirurgie abdominale de moins de 1 mois.
- Fièvre (température corporelle >38°C).

Les patients éligibles atteints d'une MC étaient identifiés lors d'une hospitalisation dans le service de Pédiatrie Médicale et Médecine de l'Adolescent ou en hospitalisation de jour pédiatrique ou en consultation de gastro-entérologie pédiatrique au CHU Amiens-Picardie dans le cadre du suivi standard de leur MC.

Le diagnostic de MC était posé selon les critères de Porto [15] et la MC classée selon la classification de Paris [38].

Les données médicales issues de la prise en charge standard nécessaires à l'étude ont été extraites de la base de données du CHU via la base DxCare® software (v 7.7.9.7.7, MEDASYS, Dedalus, France). Elles comprenaient les données cliniques (anthropométriques, symptômes...), biologiques (numération formule sanguine, bilan inflammatoire, CRP et vitesse de sédimentation, albuminémie, calprotectine fécale), radiologiques (échographie, entéro-IRM) et endoscopiques.

La calprotectine fécale était déterminée par technique d'immunoabsorption par enzyme liée (Méthode ELISA) au laboratoire de biochimie du CHU Amiens-Picardie. Ce dosage était réalisé dans le cadre du suivi habituel de la MC.

Le score d'activité wPCDAI qui contient des critères anamnestiques, cliniques et biologiques a été déterminé. Un score inférieur ou égal à 12,5 indiquait une rémission. Un score entre 12,5 et 30 indiquait une activité faible de la maladie et entre 30 et 50 une activité moyenne. L'atteinte sévère était définie par un score supérieur à 50 (*Annexe 5*).

III. MISE EN PLACE DU PROTOCOLE DE L'ETUDE

III.1. REALISATION DES CLICHES THERMOGRAPHIQUES

Afin de permettre la répétabilité des mesures par IR, un protocole rigoureux a été mis en place :

Le patient était installé pour la réalisation de clichés thermographiques dans une pièce fermée, dédiée dont la température ambiante était contrôlée ($20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$) ainsi que le taux d'humidité (entre $40\% \pm 5\%$). Afin de limiter toutes perturbations de la zone de mesure, par réchauffement ou refroidissement, la salle d'examen dédiée ne présentait pas de climatisation pulsée ou toute autre source de chaleur rayonnante, comme le soleil au travers des fenêtres. Pour éviter les variations circadiennes de la température cutanée, les mesures ont toujours été réalisées le matin entre 10 et 11 heures.

La température tympanique était mesurée pour chaque patient avec le même appareil, (thermomètre auriculaire Thermo Scan PRO 6000® Welch Allyn, Braun, Kronberg im Taunus, Allemagne) et selon le même protocole. Le thermomètre utilisé mesurait l'énergie IR dégagée par la membrane tympanique du patient afin de déterminer de manière précise et reproductible sa température corporelle [39].

Le patient était installé en position decubitus dorsal sur une table d'examen, dévêtu préalablement (torse uniquement), et un temps d'adaptation à la température de la pièce d'environ 10 minutes a été réalisé, temps nécessaire pour que le matériel de thermographie soit stabilisé afin d'obtenir des clichés de qualité.

Nous avons déterminé la radiation IR abdominale par une caméra thermique sans contact FLIR® T560 (TELEDYNE FLIR, Portland, Etats Unis) (*Annexe 1*). Cette caméra est spécialement développée pour l'imagerie IR thermique. Ces caractéristiques permettent d'obtenir des images thermiques de haute qualité et détaillées :

- Résolution 640 x 480 pixels / Taille pixel $12\mu\text{m}$ / 7,5 à $14\mu\text{m}$.
- Résolution thermique $< 40\text{mK}$ à 30°C .

- Fréquence d'acquisition : 30Hz.
- Objectif 17mm (24°x18°), Champs de vision instantané (IFOV) 0,66 mrad, distance de focalisation minimale = 15cm.
- Etalonnage de -20 à 120°C, de 0 à 650°C et de 300 à 1500°C.
- Précision de mesure $\pm 2^\circ\text{C}$ ou $\pm 2\%$.
- Caméra numérique 5 mégapixels.

Les clichés, en IR, tant en plan large (intégralité de l'abdomen) qu'en plan serré (zones particulières) renseignaient la distance depuis la zone de mesure à la caméra IR. Ceci a permis une meilleure correspondance entre les repérages anatomiques et les évaluations des surfaces inflammatoires.

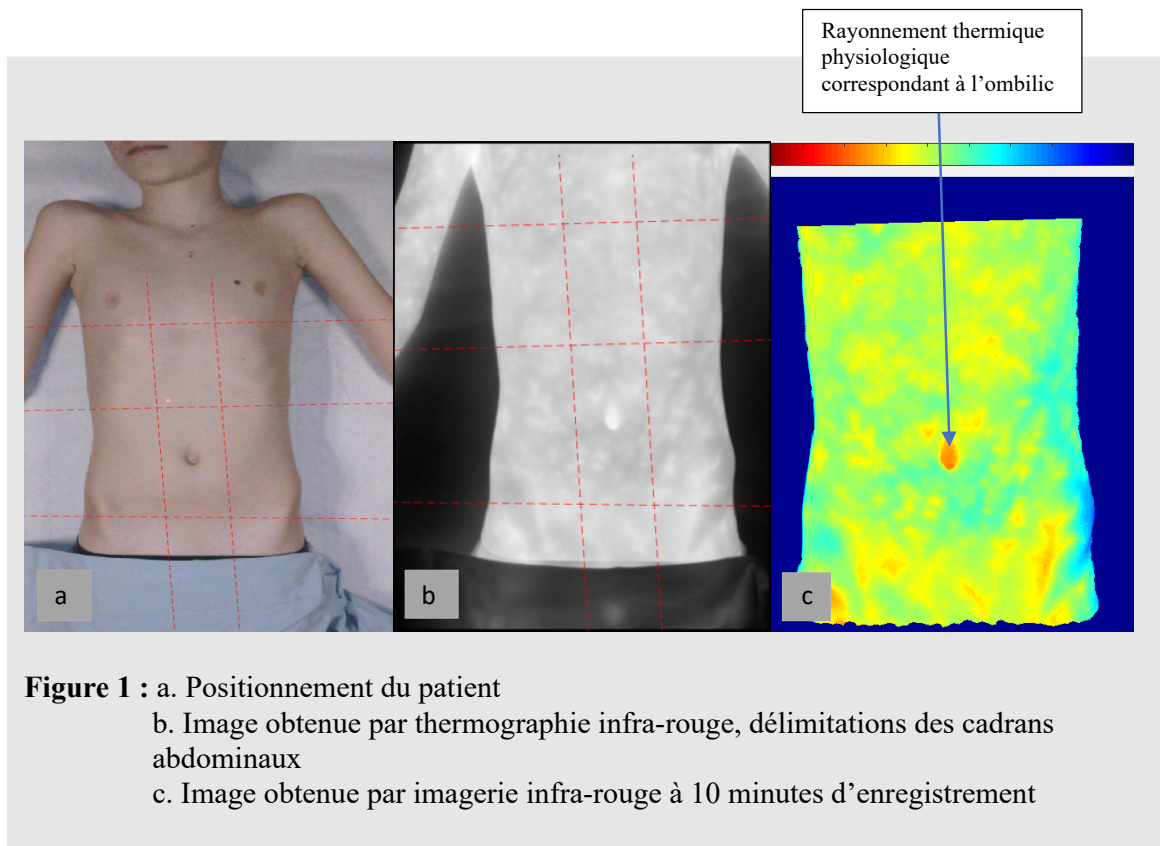
Pour des raisons pratiques et de reproductibilité, la caméra thermique était fixée sur un bras articulé, permettant d'avoir le même angle et la même distance entre l'objectif et le patient.

III.2. ANALYSE DES CLICHES THERMOGRAPHIQUES

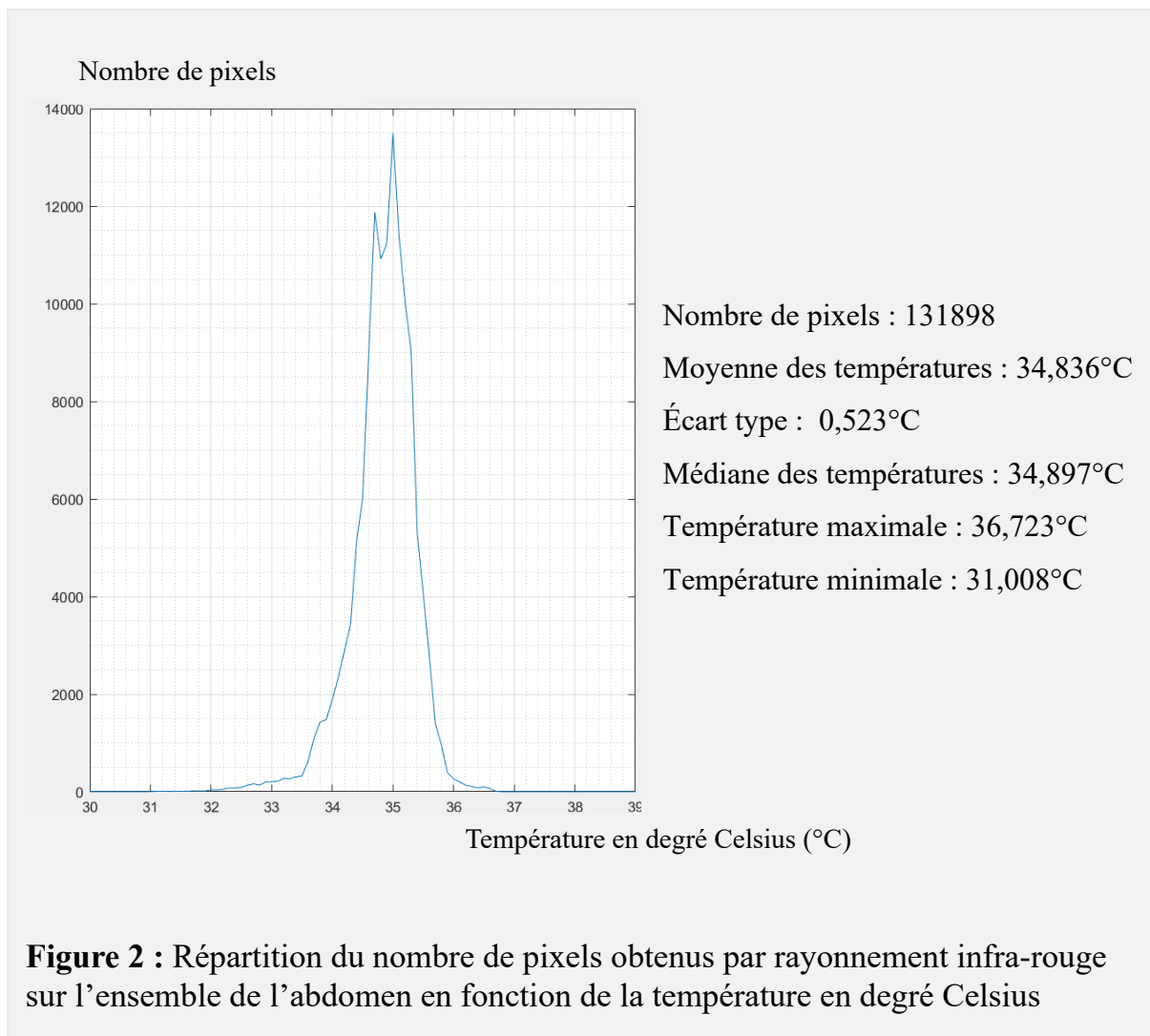
Les clichés thermographiques acquis par la caméra thermique Flir® T560 ont ensuite été transférés via un câble USB et stockés sur le disque dur d'un ordinateur de type PC sur lequel avaient été installés préalablement les logiciels Flir Thermal Studio Pro® et Research Studio® (Société FLIR SYSTEMS, Wilson ville, Etats-Unis). Ces logiciels permettent notamment le pilotage de la caméra thermique, l'enregistrement des données et le post-traitement des images ou des films thermiques.

Les clichés thermographiques concernaient :

- l'ensemble de l'abdomen délimité en haut par les rebords costaux et la xyphoïde, et en bas par une ligne horizontale passant par le bord supérieur du pubis (*Annexe 2*) (*Figure 1a, 1b*).
- La fosse iliaque droite (FID) où se situe la zone iléo-caecale est une zone d'intérêt majeure dans la MC de l'enfant car siège fréquent d'inflammation (*Annexe 2*).



Chaque point de la cartographie thermique couleur de l'abdomen a été analysé et interprété en degrés Celsius (*Figure 1c*). L'analyse permettant une analyse spectrale du signal thermique sur le logiciel MATLAB® (The Mathworks, Natick, Etats-Unis). Nous avons ainsi créé pour chaque zone un histogramme 2D des températures afin d'interpréter les résultats (*Figure 2*).



Des clichés de l'abdomen, pris en continu, ont permis d'apprécier l'intégralité de la zone. Après segmentation, nous avons isolé, par quadrant, les zones d'intérêts (*Figure 3*). Dans chaque zone identifiée, la valeur moyenne et l'écart type ainsi que le nombre de voxels ont été sauvegardés et comparés entre eux (*Figure 4*).

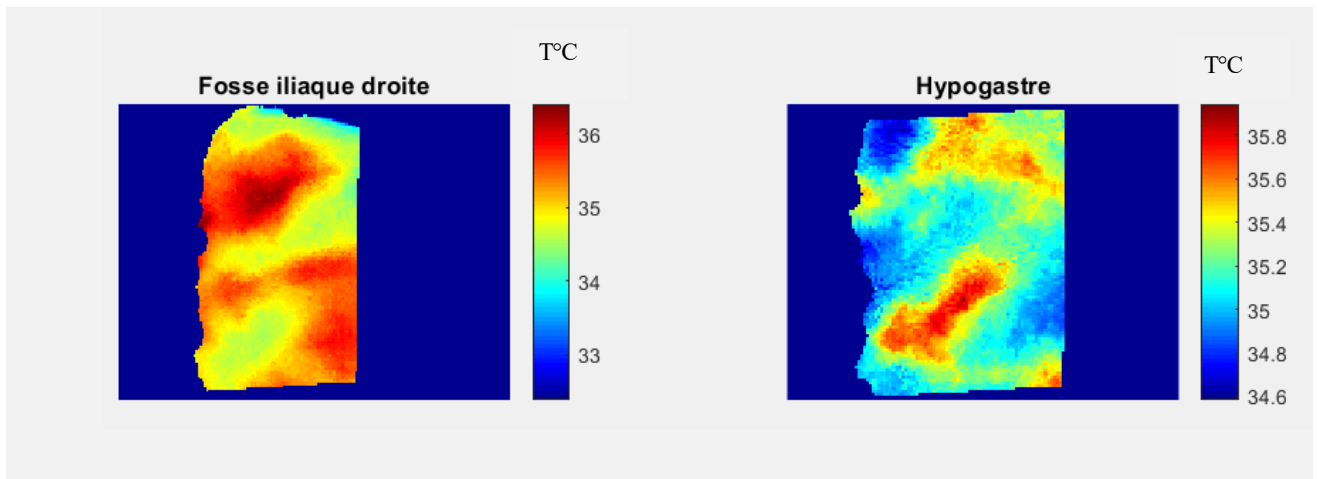


Figure 3 : Exemples d'images obtenues par thermographie infrarouge (fosse iliaque droite et hypogastre).

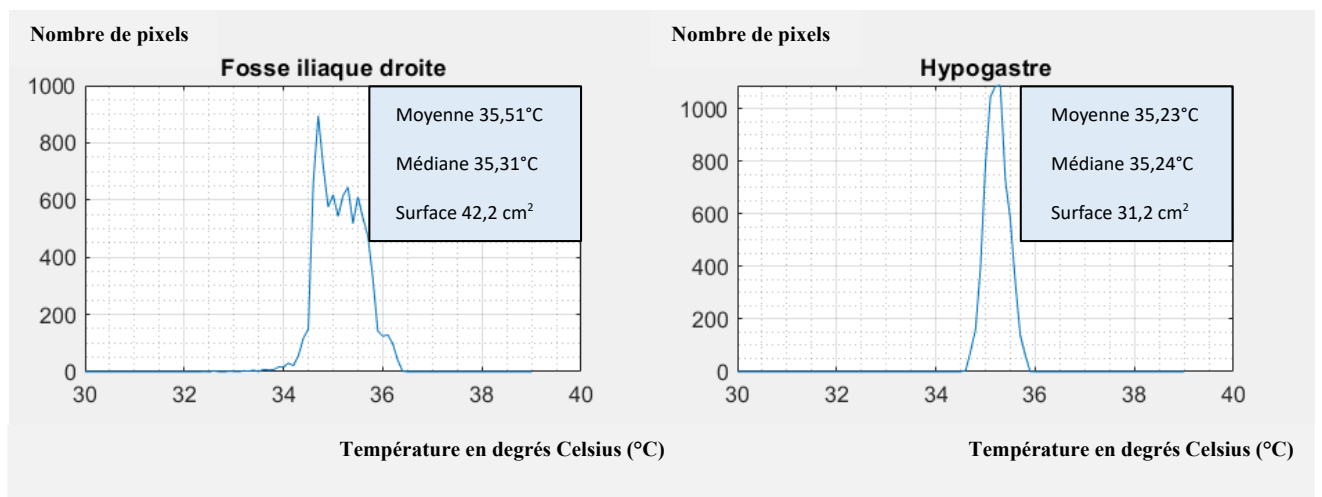


Figure 4 : Distribution des pixels obtenus par thermographie infrarouge à la 10^{ème} minute en fonction de la température en degrés Celsius pour la fosse iliaque droite et l'hypogastre.

IV. CRITERES D'EVALUATION

IV.1. CRITERE D'EVALUATION PRINCIPAL

Le critère de jugement principal était le degré de corrélation de la quantification de la radiation IR abdominale déterminée par la caméra thermique FLIR® (en degrés Celsius) avec le dosage de la calprotectine fécale dont la concentration ($\mu\text{g/g}$ de selles) était déterminée par méthode ELISA au CHU Amiens sud en biochimie.

IV.2. CRITERES D'EVALUATIONS SECONDAIRES

Les critères de jugement secondaires étaient :

- Le degré de corrélation de la quantification de la radiation IR abdominale déterminée par la caméra thermique et quantifiée par l'analyse spectrale du signal thermique (en degrés Celsius) avec l'atteinte inflammatoire digestive retrouvée à l'endoscopie digestive et à l'échographie abdominale.
- Le degré de corrélation de la quantification de la radiation IR abdominale déterminée par la caméra thermique et quantifiée par l'analyse spectrale du signal thermique (en degrés Celsius) avec la détermination de l'activité de la MC estimée par le score wPCDAI.

V. ANALYSES STATISTIQUES

V.1. NOMBRE DE PATIENTS A INCLURE

L'inclusion de 36 patients évaluables pour le critère principal permettait de montrer une corrélation de Pearson d'au moins 0,45 entre le degré d'inflammation digestive et la quantification de la radiation IR abdominale.

Ces calculs ont été réalisés avec un risque de 1^{ère} espèce bilatéral de 5% et une puissance de 80%. En prenant en compte environ 15% de données incomplètes, 43 patients ont été inclus.

Tous les patients recrutés à l'exception de ceux ayant fait objection de l'utilisation de leurs données, ont été inclus dans les analyses statistiques.

V.2. ANALYSE DESCRIPTIVE DE LA POPULATION

L'ensemble de l'analyse statistique a été réalisé avec le logiciel SAS® version 9.4. (SAS Institute, Cary, Etats-Unis).

Les variables quantitatives étaient décrites à l'aide de la moyenne \pm écart type et de la médiane (minimum - maximum). Les variables qualitatives étaient décrites par leur fréquence avec un intervalle de confiance à 95 %.

V.3. ANALYSE DE LA CORRELATION

L'atteinte iléale dans la MC étant caractéristique et fréquente, il a été convenu de comparer un différentiel des moyennes de rayonnement IR de la FID et de l'abdomen total (Global) : Δ (FID-Global). Ainsi un différentiel positif suggérait que le rayonnement IR était supérieur au niveau de la FID comparativement au rayonnement global, ce qui serait en faveur d'une atteinte inflammatoire liée à la MC. Plus le différentiel était élevé, plus l'atteinte inflammatoire était importante. Un différentiel nul ou négatif au contraire était le reflet de l'absence d'inflammation chez un patient indemne d'atteinte liée à sa pathologie.

Le Δ (FID-Global) ne suivant pas une loi normale (test de Shapiro-Wilk, $p=0,088$), des tests non paramétriques ont été réalisés. La corrélation entre le degré d'inflammation digestive et la quantification de la radiation IR abdominale a été étudiée à l'aide du coefficient de corrélation de Spearman [40]. Le risque de première espèce était fixé à 5% bilatéral. Le coefficient de corrélation de Spearman est compris entre -1 et 1 . Plus le coefficient est proche de 1 , plus la relation positive entre les variables est forte (les variables allant dans le même

sens). Plus le coefficient est proche de -1 , plus la relation négative entre les variables est forte (les variables allant dans le sens inverse). Plus le coefficient est proche de 0 , plus la relation entre les variables est faible (les variables sont indépendantes).

Dans un second temps, des seuils de Δ (FID-Global) prédictifs de l'inflammation digestive ont été calculés par la méthode de Youden [41]. Les performances diagnostiques des seuils obtenus ont ensuite été illustrées par des courbes ROC.

VI. ASPECT ETHIQUE :

Cette étude a été approuvée par le comité de protection des personnes (CPP). Le consentement des enfants âgés de 6 à 17 ans ainsi que celui de leurs représentants légaux ont été recueillis. La participation à cette étude était volontaire. La confidentialité de l'ensemble des données recueillies est garantie.

L'inclusion dans l'étude et son déroulement n'a pas augmenté la durée d'hospitalisation prévue initialement.

RESULTATS

I. CARACTERISTIQUES DE LA POPULATION

Les caractéristiques au diagnostic des patients inclus sont résumées dans *le Tableau 1*.

	<i>N(%) ou médiane(min-max)</i>
Age au diagnostic (en années)	12 (8-16)
Sex ratio (M/F)	1,86
Granulomes épithélioïdes	43 (100)
Sérologie IgA ASCA	29 (67,7)
Calprotectine fécale au diagnostic (en µg/g de selles)	2265 (132-9999)
wPCDAI au diagnostic	65 (20-95)
Atteinte digestive échographique au diagnostic	32 (74,4)
Atteinte endoscopique localisatrice au diagnostic selon la classification de Paris (<i>Annexe 3</i>)	
L1 (iléon ± caecum)	7 (16,3)
L2 (côlon seul)	3 (7)
L3 (iléon et côlon)	14 (32,5)
L4(tube digestif haut)	0 (0)
L1-L4	0 (0)
L2-L4	1 (2)
L3-L4	18 (41,5)
Fistule digestive	4 (9,3)
Sténose digestive	1 (2,3)
Atteinte périnéale	4 (9,3)
Retard de croissance	14 (32,6)

Tableau1 : Caractéristiques au diagnostic de la population étudiée (43 patients).

(M/F) : Masculin/ Féminin ; IgA ASCA : Anticorps anti-Saccharomyces cerevisiae ; wPCDAI : score pondéré d'activité de la maladie de Crohn (*Annexe 5*).

La population étudiée était composée de 43 patients.

L'endoscopie digestive retrouvait une atteinte iléale dans plus de 90% des cas.

Sur les 43 patients, 5 avaient présenté un retard pubertaire au diagnostic de la MC.

II. CARACTERISTIQUES AU MOMENT DE L'INCLUSION

Les caractéristiques des patients au moment de l'inclusion sont résumées dans le *Tableau*

2. La température corporelle était prise au thermomètre tympanique avec une température médiane à 36,4 °C (36-37,5 °C), l'indice de masse corporelle (IMC) moyen était à 18,7 kg/m² +/- 2,9 kg/m². 53% des patients avaient une calprotectine fécale supérieure à 150 µg/g de selles.

	<i>N (%) ou médiane (min-max) ou médiane [IQR] ou moyenne (SD)</i>
Age à l'inclusion (en années)	14 (8-17) [13-16]
IMC (en kg/m ²)	18,68 (2,94)
Température du patient (en degrés Celsius)	36,4 (36-37,5) [36,2-36,65]
Calprotectine fécale (en µg/ g de selles)	199 (12,3-5830) [42,8-638]
wPCDAI	7,5 (0-57,5) [0-22,5]
<i>Rémission</i>	25 (58,1)
<i>Activité minime</i>	15 (34,9)
<i>Activité modérée</i>	2 (4,7)
<i>Activité sévère</i>	1 (2,3)
Atteinte échographique	18 (50)
<i>Atteinte iléale</i>	9 (25)
<i>Atteinte colique</i>	4 (11,1)
<i>Atteinte iléo-colique</i>	5 (13,9)
Atteinte endoscopique localisatrice (<i>Annexe 3</i>)	
<i>Absence d'atteinte</i>	9 (24,3)
<i>L1 (Iléon ±caecum)</i>	10 (27)
<i>L2 (Côlon seul)</i>	3 (8,2)
<i>L3 (Iléon et côlon)</i>	10 (27)
<i>L1-L4 (Iléon ±Caecum +Tube digestif haut)</i>	1 (2,7)
<i>L2-L4(Côlon + Tube digestif haut)</i>	0 (0)
<i>L3-L4 (Iléon, côlon + Tube digestif haut)</i>	4 (10,8)

Tableau 2 : Caractéristiques au moment de l'inclusion (36 patients).

IMC : Indice de masse corporelle ; wPCDAI : Score pondéré d'activité de la maladie de Crohn (Annexe 5).

Parmi les patients inclus, 50% avaient une atteinte échographique au moment de l'inclusion. Chez ces patients présentant une atteinte inflammatoire à l'échographie, il s'agissait dans 78% des cas d'atteinte iléale (*Figure 5*).

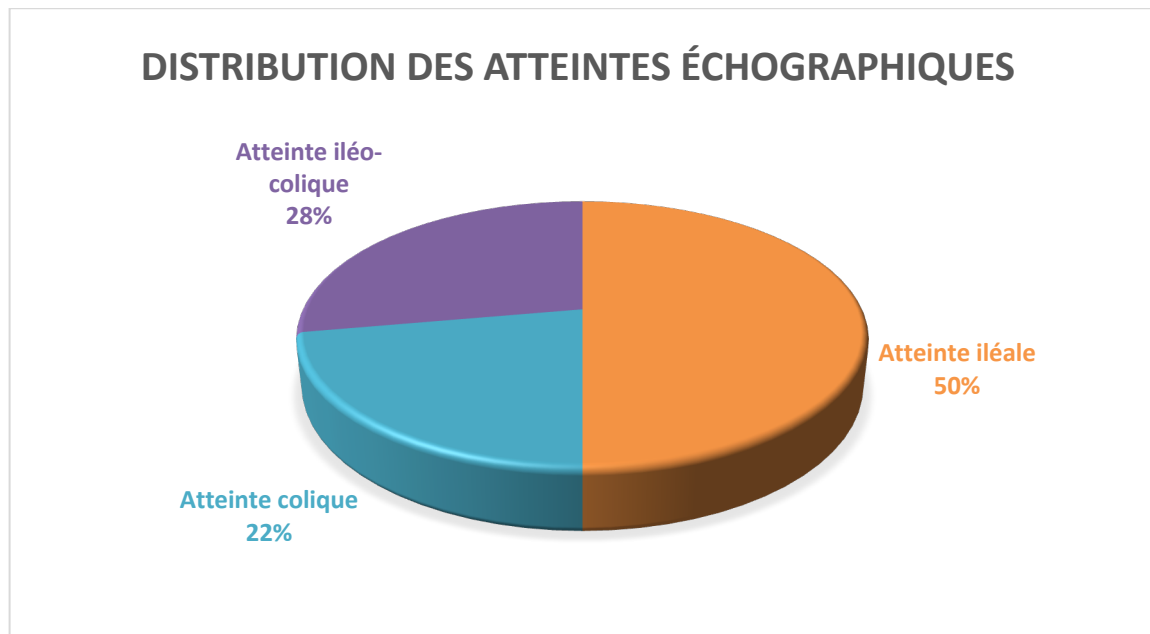


Figure 5 : Distribution des atteintes échographiques chez les 18 patients présentant une atteinte échographique à l'inclusion.

Concernant l'atteinte endoscopique 75% des patients inclus avaient une atteinte endoscopique liée à leur MC avec une atteinte iléale dans 67% des cas. Chez les patients présentant une atteinte endoscopique, l'atteinte iléale a été répertoriée chez 90% d'entre eux (*Figure 6*).

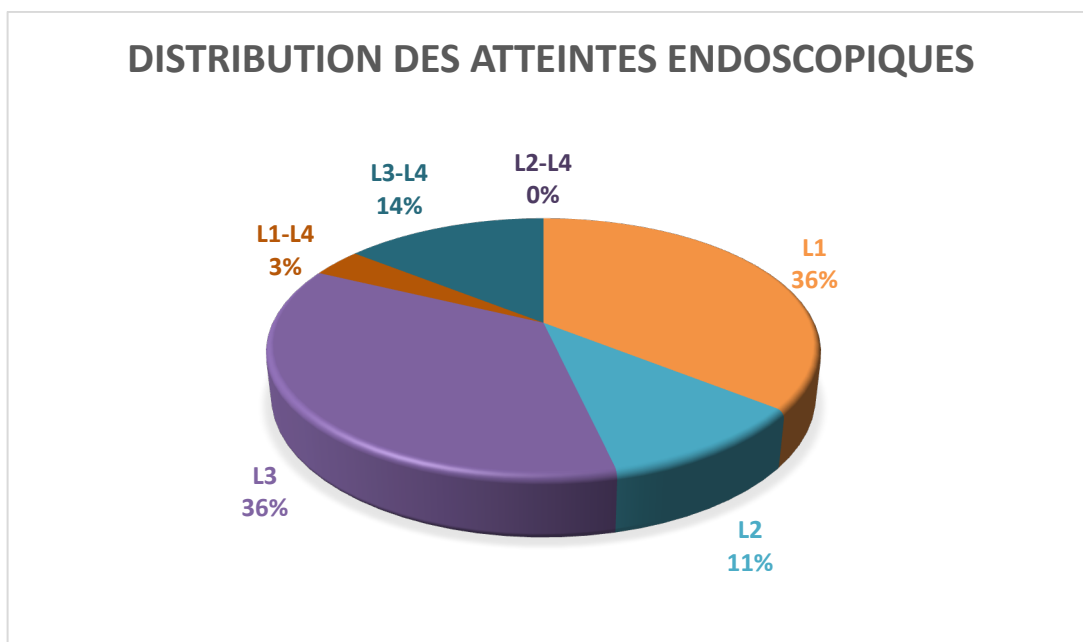


Figure 6 : Distribution des atteintes endoscopiques chez les 27 patients présentant une atteinte endoscopique à l'inclusion.

L1 : Iléon ± caecum ; L2 : Côlon seul ; L3 : Iléon et côlon ; L4 : Tube digestif haut

Concernant les traitements, les biothérapies étaient les traitements les plus fréquemment retrouvés avec 67% des patients qui étaient sous infliximab.

La répartition des traitements est résumée sur la *Figure 7*.

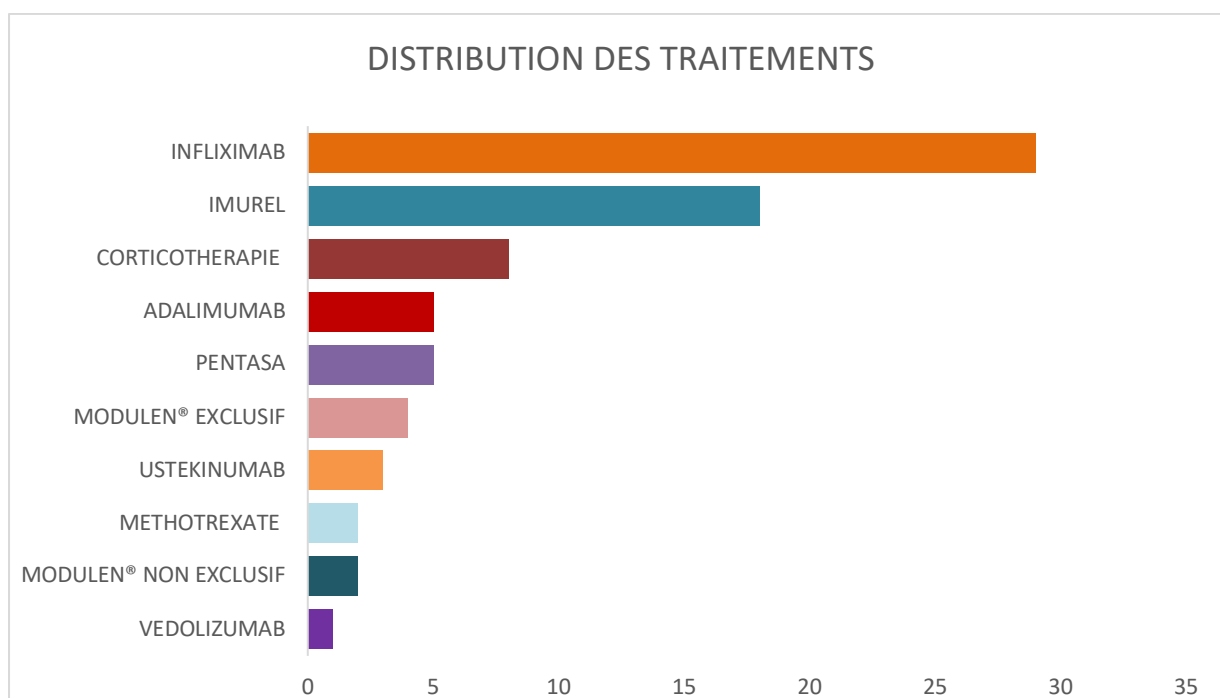


Figure 7 : Distribution des traitements à l'inclusion (36 patients).

III. CORRELATION DES VARIABLES REFLETANT L'INFLAMMATION DIGESTIVE AVEC LE DIFFERENTIEL DE RAYONNEMENT INFRAROUGE

III.1. CORRELATION ENTRE LA CALPROTECTINE FECALE ET Δ (FID-GLOBAL)

Concernant le critère de jugement principal, le Δ (FID-Global) était corrélé à l'inflammation digestive caractérisée par l'élévation de la calprotectine fécale. Le coefficient de corrélation de Spearman était égal à 0,56 ($p = 0,0002$), traduisant une bonne corrélation significativement positive (*Figure 8a et 8b*).

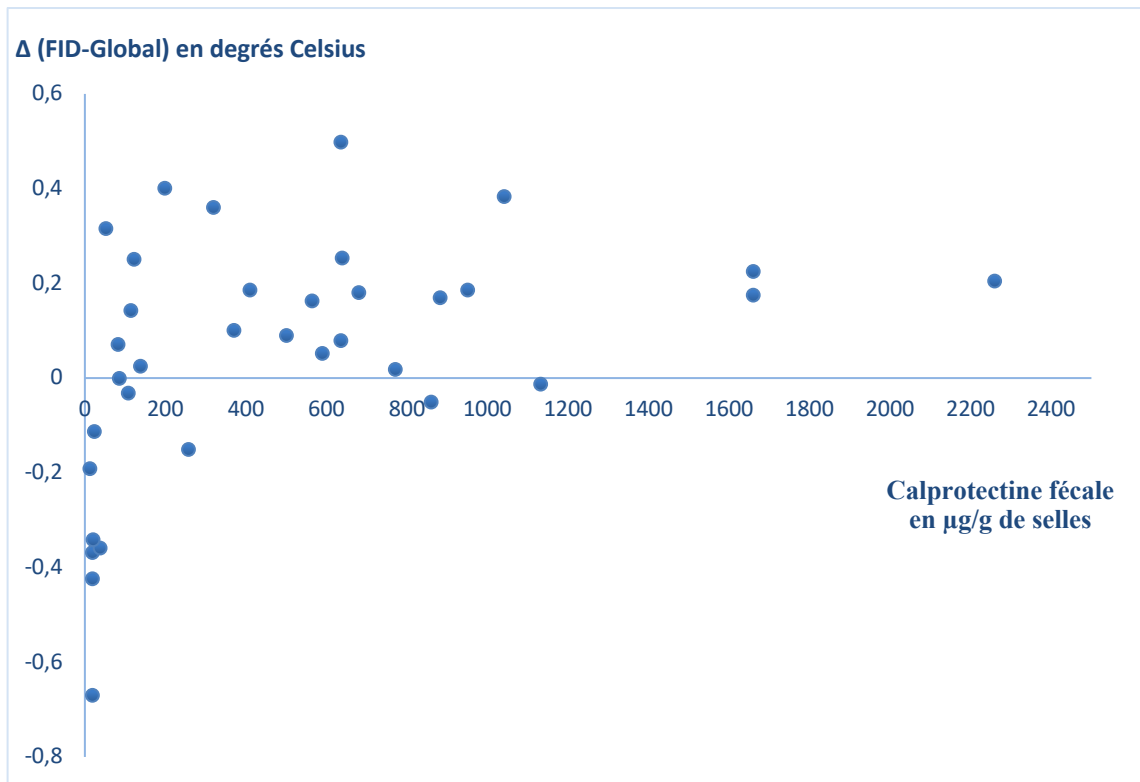


Figure 8a : Distribution du différentiel de température FID-Global exprimé en degrés Celsius en fonction de la valeur de calprotectine fécale exprimée en μg/g de selles chez 36 patients.

FID = Fosse iliaque droite ; Δ (FID-Global) : Différentiel de rayonnement infrarouge entre la fosse iliaque droite et l'abdomen total exprimé en degrés Celsius.

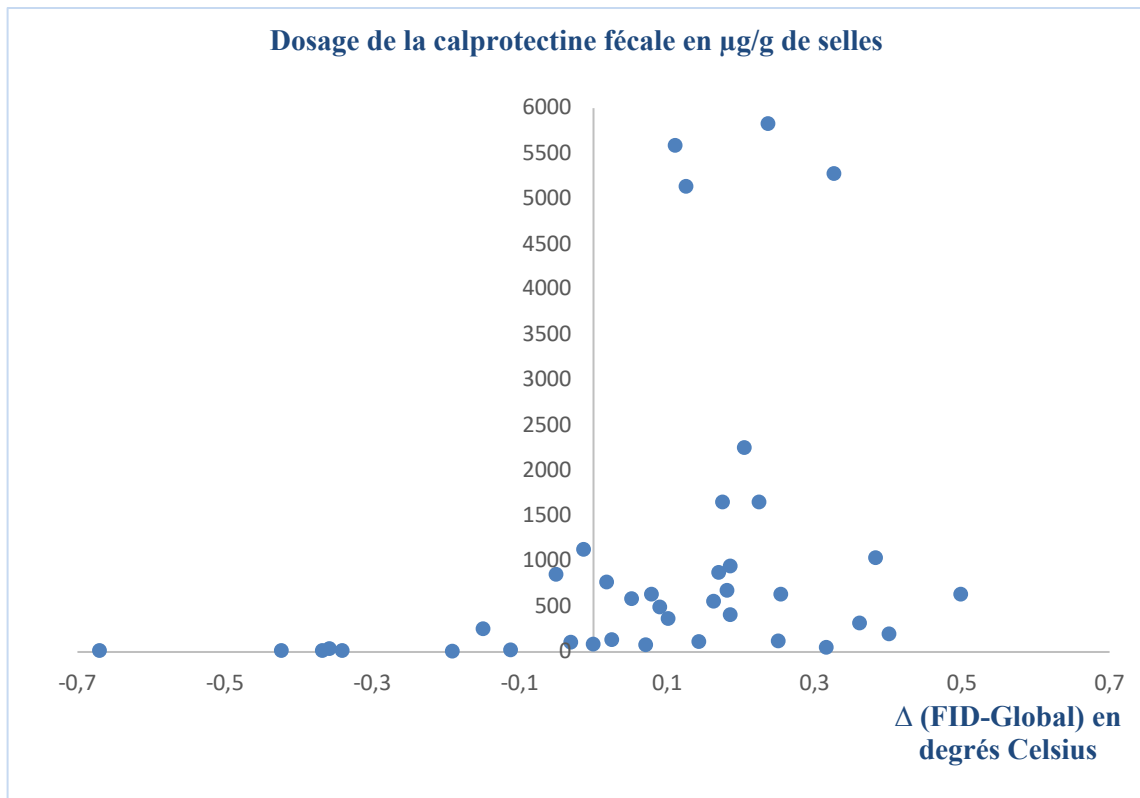


Figure 8b : Distribution des valeurs de la calprotectine fécale exprimée en µg/g de selles en fonction du différentiel de température FID-Global exprimé en degrés Celsius chez 36 patients.

FID = Fosse iliaque droite ; Δ (FID-Global) : Différentiel de rayonnement infrarouge entre la fosse iliaque droite et l'abdomen total exprimé en degrés Celsius.

III.2. CORRELATION DE L'ATTEINTE ECHOGRAPHIQUE, DE L'ATTEINTE ENDOSCOPIQUE ET DU WPCDAI AVEC LE Δ (FID-Global)

Concernant les critères de jugement secondaires :

Le Δ (FID-Global) était corrélé à l'atteinte échographique ($p = 0,028$) et à l'atteinte endoscopique ($p = 0,013$).

Cependant il n'y avait pas de corrélation entre le Δ (FID-Global) et le wPCDAI avec un coefficient de Spearman égal à 0,09 ($p = 0,576$) (Figure 9).

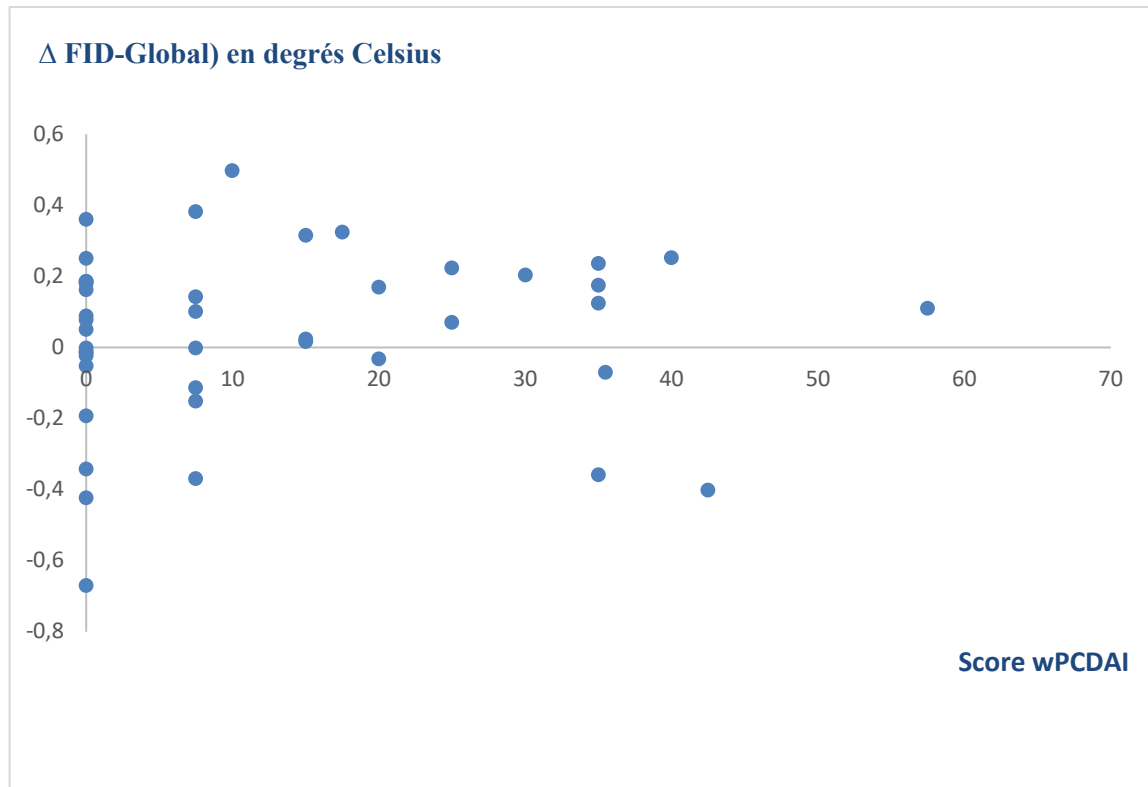


Figure 9 : Distribution du différentiel de rayonnement FID-Global exprimé en degrés Celsius en fonction du wPCDAI chez 36 patients.

FID = Fosse iliaque droite, Δ (FID-Global) : Différentiel de rayonnement infrarouge entre la fosse iliaque droite et l'abdomen total exprimé en degrés Celsius, wPCDAI = score pondéré pédiatrique d'activité de la maladie de Crohn (Annexe 5).

III.3. CORRELATION DES ASSOCIATIONS DES VARIABLES REFLETANT L'INFLAMMATION DIGESTIVE AVEC LE Δ (FID-Global)

Lorsque l'on s'intéresse aux associations des différents paramètres utiles à l'évaluation de l'activité de la MC, nous retrouvons une corrélation entre le Δ (FID-Global) et le taux de calprotectine fécale associée à une atteinte endoscopique ($p = 0,019$).

Le Δ de rayonnement IR était également prédictif d'une atteinte retrouvée à la fois à l'échographie et à l'endoscopie ($p = 0,03$).

Par contre le Δ (FID-Global) ne semblait pas prédictif de l'activité de la MC matérialisée simultanément par une élévation de la calprotectine fécale et une atteinte échographique ($p = 0,057$) ni des associations impliquant le wPCDAI.

L'ensemble des associations et le caractère prédictif du Δ (FID-Global) qui leur est associé sont récapitulés dans le *Tableau 3*.

	Élévation de la calprotectine fécale	Atteinte échographique	Atteinte endoscopique	wPCDAI>12,5
Élévation de la calprotectine fécale		Prédictif	Non prédictif	Non prédictif
Atteinte échographique	Prédictif		Prédictif	Non prédictif
Atteinte endoscopique	Prédictif	Prédictif		Non prédictif
wPCDAI> 12,5	Non prédictif	Non prédictif	Non prédictif	

Tableau 3 Caractère prédictif de l'inflammation digestive du Δ (FID-Global)

wPCDAI : score pondéré pédiatrique d'activité de la maladie de Crohn; *wPCDAI > 12,5* : MC active ; Δ (FID-Global) : Différentiel de rayonnement infrarouge entre la fosse iliaque droite et l'abdomen global exprimé en degrés Celsius.

IV. VALEUR SEUIL DE DIFFERENTIEL PREDICTIVE D'UNE ATTEINTE ACTIVE DE LA MALADIE DE CROHN

IV.1. VALEUR SEUIL PREDICTIVE D'UNE ELEVATION DE LA CALPROTECTINE FECALE

Une valeur seuil de 0,084 obtenue par la méthode de Youden [41] était prédictive d'une élévation de la calprotectine fécale supérieure à 150 $\mu\text{g/g}$ de selles avec une sensibilité à 85% et une spécificité à 74%. Nous obtenons une aire sous la courbe ROC de 0,77 avec un IC à 95% de [0,61-0,93] (*Figure 10*). Ainsi, 77% des patients qui ne présentaient pas d'élévation de la calprotectine fécale avaient un Δ (FID-Global) inférieur à 0,084.

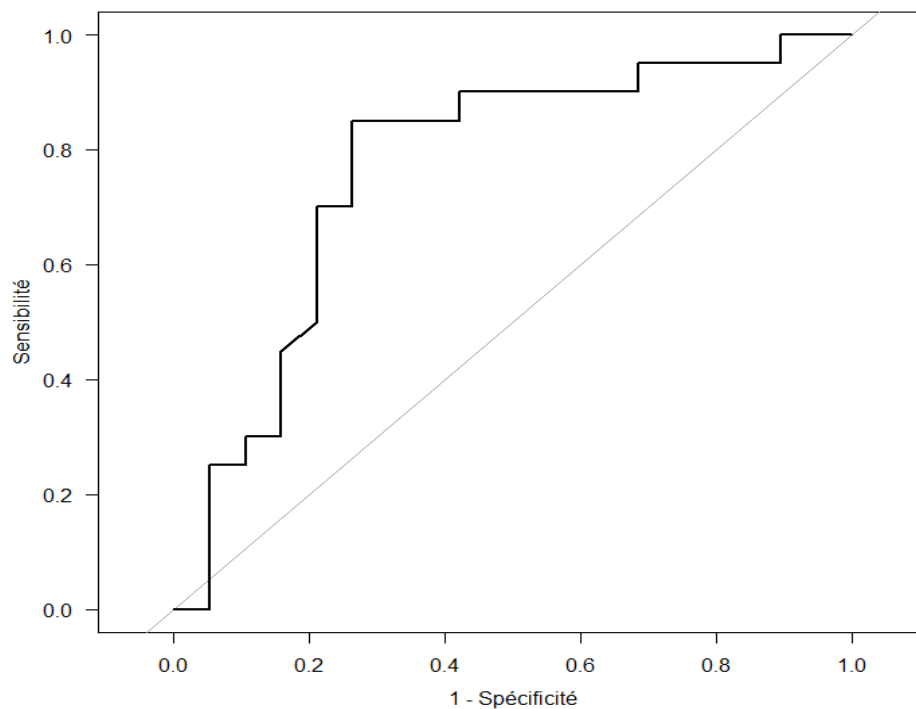


Figure 10 : Courbe ROC : Performance prédictive de l'élévation de calprotectine fécale à un seuil supérieur à 150 $\mu\text{g/g}$ de selles.

IV.2. VALEUR SEUIL PREDICTIVE D'UNE ATTEINTE ECHOGRAPHIQUE

Une valeur seuil de 0,178 obtenue par la méthode de Youden [41], serait prédictive d'une atteinte échographique avec une sensibilité à 56% et une spécificité à 94%. Nous obtenons une aire sous la courbe ROC de 0,77 avec un IC à 95% de [0,61-0,93] (Figure 11). Ainsi, 56% des patients présentant une atteinte inflammatoire échographique ont un Δ (FID-Global) supérieur ou égal à 0,178.

De même, 94% des patients qui ne présentent pas d'atteinte inflammatoire visible à l'échographie ont un Δ (FID-Global) inférieur à 0,178.

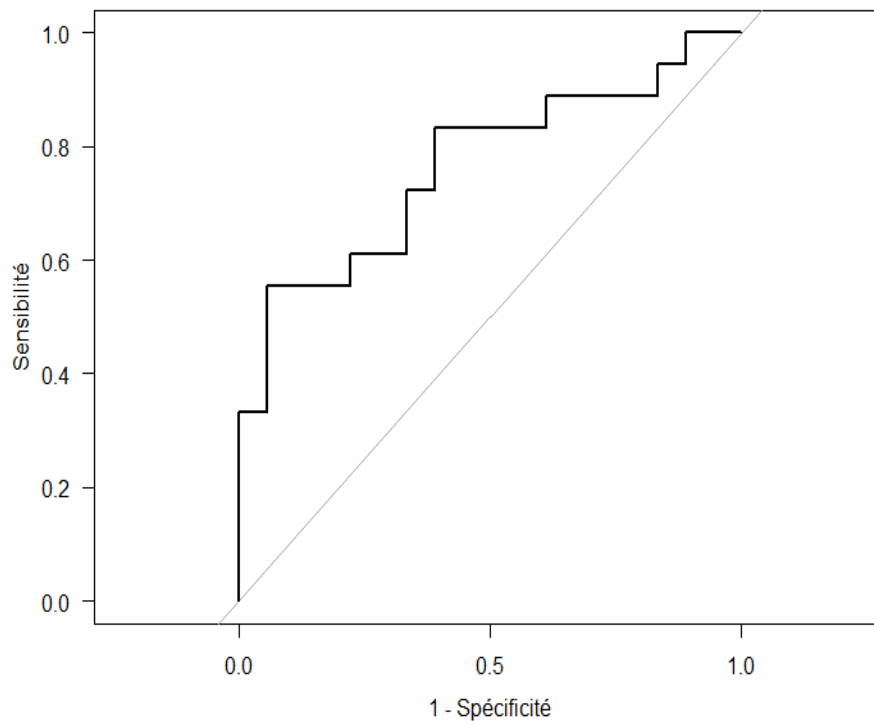


Figure 11 : Courbe ROC : Performance prédictive d'une atteinte échographique

Le rapport de vraisemblance positif était à 9,3. Ainsi la probabilité de retrouver un Δ (FID-Global) supérieur au seuil de 0,178 en cas d'atteinte inflammatoire échographique était 9,3 fois plus importante qu'en l'absence d'inflammation à l'échographie.

IV.3. VALEUR SEUIL PREDICTIVE D'UNE ATTEINTE ENDOSCOPIQUE

Il en est de même pour une valeur seuil de 0,104 obtenue par la méthode de Youden [41] qui serait prédictive d'une atteinte endoscopique avec une sensibilité à 64% et une spécificité à 89%. Nous obtenons une aire sous la courbe ROC de 0,82 avec un IC à 95% de [0,68-0,96] (Figure 12). Ainsi, 64% des patients ayant une atteinte inflammatoire à l'endoscopie ont un Δ (FID-Global) supérieur ou égal à 0,104.

De même, 96% des patients n'ayant pas d'atteinte à l'endoscopie avaient un Δ (FID-Global) inférieur à 0,104.

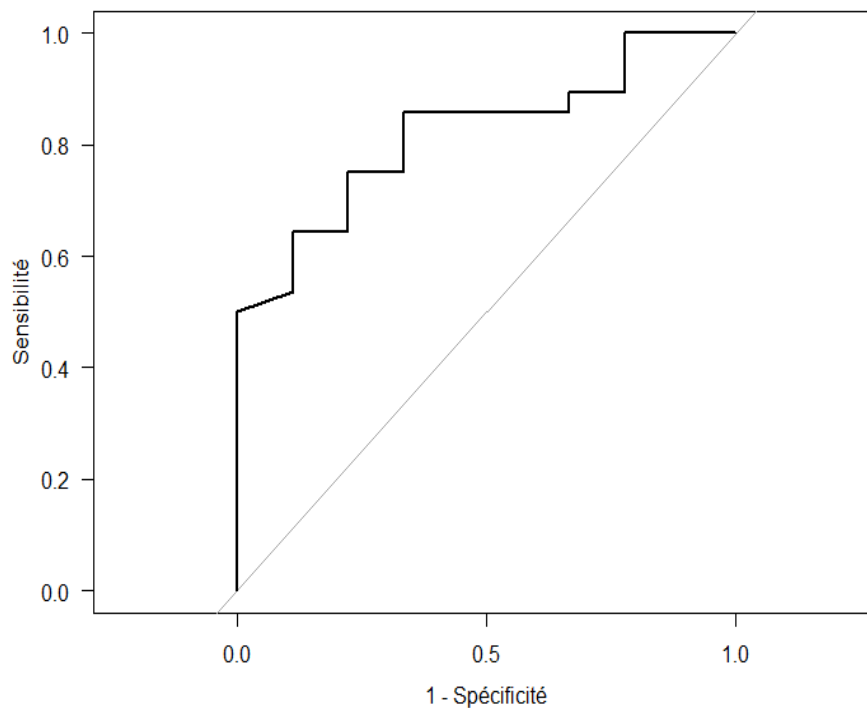


Figure 12 : Courbe ROC : Performance prédictive d'une atteinte endoscopique

Le rapport de vraisemblance positif est à 5,8. la probabilité de retrouver un Δ (FID-Global) supérieur au seuil de 0,104 chez un patient présentant une atteinte inflammatoire endoscopique était donc 5,8 fois plus importante que chez un patient indemne d'atteinte endoscopique.

DISCUSSION

A notre connaissance, notre étude est la première menée chez l'enfant qui met en lumière une relation entre l'intensité du rayonnement IR abdominal et l'importance de l'inflammation digestive évaluée par la calprotectine fécale.

I. CARACTERISTIQUES DE LA POPULATION ETUDIEE

Les caractéristiques de notre cohorte, en terme d'âge médian au diagnostic (12 ans), ainsi que de *sex-ratio* avec une prédominance de patients masculins étaient très proches des données de la littérature sur la MC pédiatrique [6]. Il en était de même concernant les caractéristiques de la MC au diagnostic : l'atteinte iléocolique était la plus fréquente avec 41% des patients, l'atteinte iléale était mise en évidence chez 80% de notre population. 90% des patients de notre cohorte ne présentaient ni atteinte pénétrante, ni sténose digestive au diagnostic contre 71% dans la littérature [7]. Une atteinte périnéale au diagnostic était présente chez 9% des patients ce qui est superposable aux données de la littérature [7]. 75% des patients de notre étude présentaient un retard statural au diagnostic, ce qui est concordant avec les données de la littérature [1].

II. CORELATION DU DIFFERENTIEL DE RAYONNEMENT INFRAROUGE ET DE LA CALPROTECTINE FECALE

Nous avons mis en évidence une corrélation positive bonne entre l'élévation de la calprotectine fécale et le Δ (FID-Global).

Le seuil de 0,084 était prédictif d'une élévation de la calprotectine fécale supérieure à 150 $\mu\text{g/g}$ de selles, reflétant ainsi une atteinte inflammatoire digestive de la MC [42]. Il était associé à une bonne sensibilité (85%) et une bonne spécificité (74%) ce qui souligne son intérêt

potentiel pour le suivi des patients atteints de MC. En effet il serait possible de détecter une atteinte inflammatoire ou de l'exclure avec un examen facilement réalisable et dont le résultat est rapide, permettant ainsi d'orienter l'attitude thérapeutique sans délai. Les images sont en effet obtenues immédiatement et leur traitement peut être automatisable. Cet outil vient donc s'ajouter aux autres paramètres usuels permettant de contrôler finement le degré d'inflammation du tube digestif afin de pouvoir proposer des attitudes thérapeutiques adaptées et susceptibles de limiter les complications imputables à l'inflammation chronique de la MC [42].

L'évaluation non invasive et instantanée de l'activité de la MC constitue un réel atout de cet examen au service des patients pédiatriques suivis pour leur MC.

L'acceptabilité de l'examen est un réel enjeu pour le suivi de jeunes patients atteints d'une maladie chronique pourvoyeuse d'anxiété et d'une dégradation de la qualité de vie comme le montrent de nombreuses études [43]. Cette problématique est d'ailleurs retrouvée dans de multiples pathologies chroniques pédiatriques comme l'arthrite juvénile idiopathique ou l'asthme par exemple [44,45].

En effet tous les patients à qui l'étude a été proposée ont accepté de participer. Le temps de l'enregistrement de dix minutes a été bien accepté par l'ensemble de la population étudiée, l'expérience a été jugée ludique voire intéressante et aucun désistement n'est survenu.

Au contraire, le dosage de la calprotectine fécale bien que non invasif est un examen très peu accepté par les patients. Seulement 20% des dosages de calprotectine fécale prescrites dans le cadre du suivi sont réalisées par les patients comme le confirme les études réalisées chez les patients adultes suivis pour des MICI [46]. Il s'agit par ailleurs d'un examen ayant un certain coût, entre 60 et 100 euros, non remboursé par la sécurité sociale s'il est réalisé en dehors d'une structure hospitalière et dont le résultat n'est pas accessible immédiatement [47].

III. CORELATION DU DIFFERENTIEL DE RAYONNEMENT INFRAROUGE ET DE L'ATTEINTE ENDOSCOPIQUE DIGESTIVE

Le Δ (FID-Global) est prédictif d'une atteinte endoscopique digestive selon les résultats de notre étude ($p = 0,013$). Un seuil de 0,104 est prédictif d'une atteinte endoscopique avec une bonne spécificité (89%) et une sensibilité correcte (64%). Un Δ (FID-Global) inférieur au seuil ne permettrait donc pas de conclure. En revanche un Δ (FID-Global) supérieur au seuil présentait un intérêt certain lorsqu'il existait une forte suspicion d'atteinte inflammatoire endoscopique.

Il est déjà bien établi que le bilan endoscopique au diagnostic est primordial pour la classification et la prise en charge de la MC [15,17]. Certaines équipes préconisent un bilan endoscopique de contrôle à 6 mois du diagnostic afin d'évaluer l'efficacité des traitements introduits et de procéder à des modifications thérapeutiques en cas de mauvaise réponse, l'objectif étant la cicatrisation muqueuse (*mucosal healing*) [18]. Un suivi endoscopique annuel est ensuite proposé.

La thermographie IR pourrait s'intégrer en complément du bilan endoscopique avec la possibilité de réaliser des évaluations intermédiaires. Selon les résultats de la thermographie IR, les endoscopies pourraient être espacées ou au contraire rapprochées. Cependant il faudra valider cette prise en charge par des études complémentaires.

Une telle attitude thérapeutique serait bénéfique à la fois pour les équipes médicales mais également pour les patients. En effet l'endoscopie digestive est un acte médical invasif, dont l'accessibilité dépend du plateau technique de l'hôpital de suivi. De plus, il s'agit d'un examen imposant au mieux une hospitalisation de jour et dont la réalisation ne s'effectue qu'au prix d'une préparation colique bien menée. Cette dernière étant le plus souvent mal tolérée par l'enfant au point qu'elle impose régulièrement la pose d'une sonde nasogastrique pour administrer la préparation [48]. L'impact à la fois physique, social et psychologique sur les patients à l'âge pédiatrique est important [49].

L'éventualité d'espacer le suivi endoscopique sans compromettre le contrôle de l'inflammation par une évaluation non invasive est une perspective intéressante.

IV. CORELATION DU DIFFERENTIEL DE RAYONNEMENT INFRAROUGE ET DE L'ATTEINTE ECHOGRAPHIQUE INTESTINALE

Le Δ (FID-Global) est prédictif d'une atteinte de la MC à l'échographie avec une bonne spécificité (94%) et sensibilité correcte (56%) pour un seuil de 0,178.

Ce seuil semble peu utile pour le dépistage et donc pour éliminer une atteinte échographique, en revanche il présente un intérêt certain pour la confirmer puisqu'il n'y a que 10% de faux positifs.

La place de l'échographie dans le suivi des MC a largement été étudiée et prouvée dans la littérature [50]. Cependant à l'heure actuelle il n'existe pas de formation spécifique à l'échographie digestive, celle-ci s'incluant à ce jour dans un diplôme non obligatoire d'échographie abdominale, qui ne consacre que peu de temps à l'échographie digestive [51]. Or, il est indispensable de maîtriser la sémiologie des atteintes intestinales de la MC ainsi que les complications susceptibles de survenir, afin de faire de l'échographie abdominale un outil fiable de l'évaluation de l'inflammation digestive. Il est également indispensable de disposer d'un appareil de bonne qualité puisque l'imagerie digestive nécessite une haute résolution et une bonne qualité de doppler [50]. De plus il n'existe à ce jour pas de sonde dédiée à l'échographie digestive [50].

Notre outil pourrait encore constituer non pas une alternative mais un complément à la prise en charge des patients de par sa disponibilité et son caractère non-opérateur dépendant.

En effet si dans les centres de pointe et les CHU, l'accès à l'échographie digestive avec opérateur expérimenté et matériel adapté semble convenable, il n'en est pas de même dans d'autres structures qui sont pourtant amenées à suivre des patients atteints de la MC.

V. CORELATION DU DIFFERENTIEL DE RAYONNEMENT INFRAROUGE ET DU WPCDAI

Nous n'avons pas mis en évidence de corrélation entre le score wPCDAI et la valeur du Δ (FID-Global).

Cette absence de corrélation peut être expliquée par la nature du score wPCDAI qui est un score d'évaluation de l'activité de la MC et non de l'inflammation digestive (*Annexe 3*)[52].

En effet, comme le montre une étude s'intéressant au rôle des scores d'activité de la MC dans l'évaluation de l'inflammation intestinale, bien que la version wPCDAI soit corrélée à l'atteinte endoscopique, elle ne permet pas d'évaluer de manière valide la cicatrisation et l'inflammation résiduelle de la muqueuse digestive [52].

Par ailleurs il s'agit d'un score reposant sur un certain nombre de données subjectives ce qui peut constituer un biais certain à l'interprétation.

Une autre explication peut également être un manque de puissance dans cette étude et cela pourra être évalué dans de futures études.

VI. LIMITES DE L'ETUDE

VI.1. NATURE DU DIFFERENTIEL

La valeur absolue de la température reflet du rayonnement IR ne peut être utilisée en l'état car elle dépend du degré d'émissivité de la peau propre à chaque individu et de facteurs extérieurs tels que la température de la pièce et le taux d'humidité [20,21,28]. Une comparaison intra et inter individuelle de la valeur brute a moins d'intérêt car dépendante de facteurs qu'il est difficile d'anticiper et de contrôler.

Pour s'affranchir de ces biais, il a été convenu de travailler avec un différentiel de moyennes de rayonnement IR. La FID étant une zone d'intérêt dans le cadre de la MC nous

avons fait le choix de comparer la moyenne du rayonnement IR de la zone d'intérêt et la moyenne du rayonnement IR de l'abdomen dans sa globalité.

Ce paramètre semble moins adapté pour l'évaluation ou le suivi de la MC responsable d'atteintes inflammatoires étendues. En effet en cas d'atteinte étendue du tube digestif, le rayonnement IR reflet de l'inflammation serait vraisemblablement augmenté sur l'ensemble du tube digestif augmentant ainsi la moyenne de rayonnement globale et diminuant par la même occasion le Δ (FID-Global).

Un tel résultat suggérerait donc à tort que le patient n'est pas inflammatoire.

Cette limite pourrait être contournée en s'attachant à définir un nouveau référentiel en dehors de l'abdomen dont on pourrait mesurer le rayonnement IR.

Dans une étude s'intéressant au rayonnement IR abdominal dans le cadre de l'évaluation de la fertilité chez la femme, il a été décidé d'étudier un différentiel entre la zone d'intérêt et la zone axillaire des individus [53].

Dans une autre étude évaluant le rôle de la thermographie IR dans le diagnostic d'appendicite, le rayonnement IR du sternum a été pris comme élément de contrôle [54].

Enfin dans une autre étude avec faible effectif, un delta entre une zone atteinte et une zone saine a été calculé pour évaluer le degré d'inflammation du tube digestif [55].

Par ailleurs, les patients participant à notre étude étaient majoritairement suivis en hôpital de jour, il s'agissait donc surtout de patients en rémission ou en activité modérée de la maladie. Seule un patient ayant une activité sévère a pu être évalué. Il serait intéressant d'élargir le recrutement à des patients en poussée inflammatoire.

VI.2. PERSPECTIVES

Il serait intéressant d'évaluer également la thermographie IR comme outil diagnostique chez des enfants suspects de MC. Une étude cas témoin avec appariement pourrait donc venir compléter l'étude actuelle et permettrait de valider les résultats obtenus.

La même étude pourrait être également réalisée chez des patients ayant une RCH. Dans cette maladie il existe également une inflammation colique parfois considérable avec sur le plan biologique une augmentation de la calprotectine fécale.

L'automatisation du traitement des images pourrait constituer une avancée considérable, faisant de la thermographie IR un outil intéressant pour cartographier les lésions inflammatoires de l'ensemble du tube digestif.

Par ailleurs afin de valider la thermographie IR comme outil de suivi de l'inflammation du tube digestif dans la MC pédiatrique, il serait intéressant de multiplier les mesures chez un même patient afin d'obtenir un suivi longitudinal de l'évolution du différentiel de rayonnement IR que l'on pourrait ensuite corréler au degré d'inflammation que l'on obtiendrait par les méthodes déjà validées.

Il serait également intéressant de déterminer un seuil de différentiel de rayonnement IR identique pour les différents outils utilisés en pratique courante afin d'évaluer l'inflammation digestive et d'en déterminer les performances.

Enfin l'étude de modèles incluant les données obtenues par la thermographie IR pourrait faire l'objet d'un intérêt certain. Ces données pourraient en effet constituer une valeur prédictive additionnelle aux modèles déjà existants.

CONCLUSION

Le contrôle de l'inflammation digestive est un des enjeux capitaux dans le suivi des MC. Il existe à l'heure actuelle un arsenal d'outils pertinents permettant d'évaluer de manière efficace l'inflammation digestive. Notre étude montre pour la première fois chez l'enfant que la thermographie IR constitue un outil non invasif intéressant dans l'évaluation de l'inflammation dans la MC de l'enfant.

Cependant d'autres études à plus grande échelle doivent confirmer nos résultats.

REFERENCES

1. FMC-HGE 2013. La maladie de Crohn de l'enfant. Disponible sur: <https://www.fmcgastro.org>
2. Yu YR, Rodriguez JR. Clinical presentation of Crohn's, ulcerative colitis, and indeterminate colitis: Symptoms, extraintestinal manifestations, and disease phenotypes. *Seminars in Pediatric Surgery*. déc 2017;26(6):349-55.
3. Molodecky NA, Soon IS, Rabi DM, Ghali WA, Ferris M, Chernoff G, et al. Increasing incidence and prevalence of the inflammatory bowel diseases with time, based on systematic review. *Gastroenterology*. janv 2012;142(1):46-54.e42.
4. CREGG. Fiches de recommandations: Enfant et MICI. Disponible sur: <https://www.cregg.org/fiches-recommandations/enfant-et-mici/>
5. Lésions anales et péri-anales de la maladie de Crohn | Proktos. Disponible sur: <https://www.proktos.com>
6. Vernier-Massouille G, Balde M, Salleron J, Turck D, Dupas JL, Mouterde O, et al. Natural history of pediatric Crohn's disease: a population-based cohort study. *Gastroenterology*. oct 2008;135(4):1106-13.
7. Rogler G, Singh A, Kavanaugh A, Rubin DT. Extraintestinal Manifestations of Inflammatory Bowel Disease: Current Concepts, Treatment, and Implications for Disease Management. *Gastroenterology*. oct 2021;161(4):1118-32.
8. Gasparetto M, Guariso G. Crohn's disease and growth deficiency in children and adolescents. *World J Gastroenterol*. 7 oct 2014;20(37):13219-33.
9. Zhang YZ, Li YY. Inflammatory bowel disease: pathogenesis. *World J Gastroenterol*. 7 janv 2014;20(1):91-9.
10. Vrabie R, Kane S. Noninvasive Markers of Disease Activity in Inflammatory

Bowel Disease. *Gastroenterol Hepatol (N Y)*. sept 2014;10(9):576-84.

11. Rutgeerts P, Vermeire S. Serological diagnosis of inflammatory bowel disease. *Lancet*. 23 déc 2000;356(9248):2117-8.

12. Tsai TL, Marine MB, Wanner MR, Cooper ML, Steiner SJ, Ouyang F, et al. Can ultrasound be used as the primary imaging in children with suspected Crohn disease? *Pediatr Radiol*. juill 2017;47(8):917-23.

13. Ahmad R, Ajlan AM, Eskander AA, Alhazmi TA, Khashoggi K, Wazzan MA, et al. Magnetic resonance imaging in the management of Crohn's disease: a systematic review and meta-analysis. *Insights Imaging*. déc 2021;12(1):118.

14. Koutroumpakis E, Katsanos K. Implementation of the simple endoscopic activity score in crohn's disease. *Saudi J Gastroenterol*. 2016;22(3):183.

15. Levine A, Koletzko S, Turner D, Escher JC, Cucchiara S, de Ridder L, et al. ESPGHAN revised porto criteria for the diagnosis of inflammatory bowel disease in children and adolescents. *J Pediatr Gastroenterol Nutr*. juin 2014;58(6):795-806.

16. Daperno M, D'Haens G, Van Assche G, Baert F, Bulois P, Maunoury V, et al. Development and validation of a new, simplified endoscopic activity score for Crohn's disease: the SES-CD. *Gastrointestinal Endoscopy*. oct 2004;60(4):505-12.

17. Sipponen T, Nuutinen H, Turunen U, Färkkilä M. Endoscopic evaluation of Crohn's disease activity: comparison of the CDEIS and the SES-CD. *Inflamm Bowel Dis*. déc 2010;16(12):2131-6.

18. van Rheenen PF, Aloï M, Assa A, Bronsky J, Escher JC, Fagerberg UL, et al. The Medical Management of Paediatric Crohn's Disease: an ECCO-ESPGHAN Guideline Update. *Journal of Crohn's and Colitis*. 1 févr 2021;15(2):171-94.

19. Ruemmele FM, Veres G, Kolho KL, Griffiths A, Levine A, Escher JC, et al. Consensus guidelines of ECCO/ESPGHAN on the medical management of pediatric Crohn's disease. *Journal of Crohn's and Colitis*. 1 oct 2014;8(10):1179-207.

20. Barnes RB. Thermography of the human body. *Science*. 24 mai 1963;140(3569):870-7.
21. Techniques de l'Ingénieur. Thermographie. Disponible sur: <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/>
22. Prédiction de durée de vie de structures sous chargement de fatigue thermique. Disponible sur: <https://archive.wikiwix.com/cache/index2.php>
23. FLIR Systems | Imagerie thermique, vision nocturne et systèmes de caméras infrarouges | Teledyne FLIR. Disponible sur: <https://www.flir.fr/>
24. Lahiri BB, Bagavathiappan S, Jayakumar T, Philip J. Medical applications of infrared thermography: A review. *Infrared Physics & Technology*. juill 2012;55(4):221-35.
25. Saxena AK, Willital GH. Infrared thermography: experience from a decade of pediatric imaging. *Eur J Pediatr*. juill 2008;167(7):757-64.
26. Bernard V, Staffa E, Mornstein V, Bourek A. Infrared camera assessment of skin surface temperature--effect of emissivity. *Phys Med*. nov 2013;29(6):583-91.
27. Head JF, Elliott RL. Infrared imaging: making progress in fulfilling its medical promise. *IEEE Eng Med Biol Mag*. 2002;21(6):80-5.
28. Ring EFJ, Ammer K. The technique of infrared imaging in medicine. *Infrared Imaging: A casebook in clinical medicine*. 1 sept 2015. Disponible sur: <https://iopscience.iop.org/book/edit/978-0-7503-1143-4>
29. Robicsek F. Thermal coronary angiography in CABG. *Ann Thorac Surg*. janv 1998;65(1):303-4.
30. Bharara M, Cobb JE, Claremont DJ. Thermography and thermometry in the assessment of diabetic neuropathic foot: a case for furthering the role of thermal techniques. *Int J Low Extrem Wounds*. déc 2006;5(4):250-60.
31. Branco JHL, Branco RLL, Siqueira TC, de Souza LC, Dalago KMS, Andrade

A. Clinical applicability of infrared thermography in rheumatic diseases: A systematic review. *Journal of Thermal Biology*. 1 févr 2022;104:103172.

32. Hartmann M, Kunze J, Friedel S. Telethermography in the diagnostics and management of malignant melanomas. *J Dermatol Surg Oncol*. mars 1981;7(3):213-8.

33. Foerster J, Kuerth A, Niederstrasser E, Krautwald E, Pauli R, Paulat R, et al. A cold-response index for the assessment of Raynaud's phenomenon. *J Dermatol Sci*. févr 2007;45(2):113-20.

34. Renkielska A, Nowakowski A, Kaczmarek M, Dobke MK, Grudziński J, Karmolinski A, et al. Static thermography revisited--an adjunct method for determining the depth of the burn injury. *Burns*. sept 2005;31(6):768-75.

35. Baillie AJ, Biagioni PA, Forsyth A, Garioch JJ, Mcpherson D. Thermographic assessment of patch-test responses. *Br J Dermatol*. mars 1990;122(3):351-60.

36. Gulias-Cañizo R, Rodríguez-Malagón ME, Botello-González L, Belden-Reyes V, Amparo F, Garza-Leon M. Applications of Infrared Thermography in Ophthalmology. *Life (Basel)*. 8 mars 2023;13(3):723.

37. Moreira DG, Costello JT, Brito CJ, Adamczyk JG, Ammer K, Bach AJE, et al. Thermographic imaging in sports and exercise medicine: A Delphi study and consensus statement on the measurement of human skin temperature. *J Therm Biol*. oct 2017;69:155-62.

38. Eszter Müller K, Laszlo Lakatos P, Papp M, Veres G. Incidence and Paris Classification of Pediatric Inflammatory Bowel Disease. *Gastroenterology Research and Practice*. 2014;2014:1-10.

39. Allyn W. ThermoScan PRO 6000 de Braun. Disponible sur: <https://www.welchallyn.com/content/welchallyn/emeai/fr2/products/categories/thermometry/ear-thermometers/braun-thermoscan-pro-6000.html>

40. Corrélation de Spearman. In: Wikipédia. Disponible sur: <https://fr.wikipedia.org/w/index.php/title=Corrélation de Spearman>.

41. Youden's J statistic. In: Wikipedia. Disponible sur: <https://en.wikipedia.org/w/index.php/title=YoudenJstatistic>.
42. Ricciuto A, Aardoom M, Orlanski-Meyer E, Navon D, Carman N, Aloï M, et al. Predicting Outcomes in Pediatric Crohn's Disease for Management Optimization: Systematic Review and Consensus Statements From the Pediatric Inflammatory Bowel Disease–Ahead Program. *Gastroenterology*. janv 2021;160(1):403-436.e26.
43. Reigada LC, Bruzzese JM, Benkov KJ, Levy J, Waxman AR, Petkova E, et al. Illness-specific anxiety: implications for functioning and utilization of medical services in adolescents with inflammatory bowel disease. *J Spec Pediatr Nurs*. juill 2011;16(3):207-15.
44. Dean BB, Calimlim BC, Sacco P, Aguilar D, Maykut R, Tinkelman D. Uncontrolled asthma: assessing quality of life and productivity of children and their caregivers using a cross-sectional Internet-based survey. *Health Qual Life Outcomes*. 8 sept 2010;8:96.
45. Mańczak M, Rutkowska-Sak L, Raciborski F. Health-related quality of life in children with juvenile idiopathic arthritis - child's and parent's point of view. *Reumatologia*. 2016;54(5):243-50.
46. JFHOD | SNFGE.org - Société savante médicale française d'hépatogastroentérologie et d'oncologie digestive. Disponible sur: <https://www.snfge.org/content/observance-de-la-calprotectine-fecale-au-cours>
47. Remboursement de la calprotectine fécale, où en sommes-nous ? AFA. 2023. Disponible sur: <https://www.afa.asso.fr/remboursement-de-la-calprotectine-fecale-ou-en-sommes-nous/>
48. Turner D, Levine A, Weiss B, Hirsh A, Shamir R, Shaoul R, et al. Evidence-based recommendations for bowel cleansing before colonoscopy in children: a report from a national working group. *Endoscopy*. déc 2010;42(12):1063-70.
49. Shafer LA, Walker JR, Waldman C, Yang C, Michaud V, Bernstein CN, et al. Factors Associated with Anxiety About Colonoscopy: The Preparation, the Procedure, and the

Anticipated Findings. Dig Dis Sci. mars 2018;63(3):610-8.

50. FMC-HGE. Place de l'échographie dans la surveillance des MICI. Disponible sur: <https://www.fmcgastro.org/texte-postu/postu-2022/place-de-lechographie-dans-la-surveillance-des-mici/>

51. IBUS – International Bowel Ultrasound Group. Disponible sur: <https://ibus-group.org/>

52. Turner D, Levine A, Walters TD, Focht G, Otley A, López VN, et al. Which PCDAI Version Best Reflects Intestinal Inflammation in Pediatric Crohn Disease? J Pediatr Gastroenterol Nutr. févr 2017;64(2):254-60.

53. Jo J, Kim H. Comparison of abdominal skin temperature between fertile and infertile women by infrared thermography: A diagnostic approach. J Therm Biol. oct 2016;61:133-9.

54. Emery M, Jones J, Brown M. Clinical application of infrared thermography in the diagnosis of appendicitis. Am J Emerg Med. janv 1994;12(1):48-50.

55. Banić M, Darko K, Borojević N, Ferenčić željko, Plesko S, Petričušić L, et al. Thermography in patients with inflammatory bowel disease and colorectal cancer: Evidence and review of the method. Periodicum Biologorum. 15 nov 2011;113.

RESUME

Introduction : Une des préoccupations dans la maladie de Crohn (MC) pédiatrique est la détection précoce des poussées inflammatoires. Elle repose sur le score pondéré d'activité de la MC pédiatrique (wPCDAI) et souvent sur des examens invasifs et/ou de disponibilité limitée notamment sur l'imagerie, l'endoscopie digestive, le dosage de la calprotectine fécale. Plus récemment a été développée la thermographie par rayonnement infrarouge (IR), une technique non invasive et reproductible, déjà évaluée dans certaines pathologies vasculaires. L'objectif de cette étude était de mettre en évidence une corrélation entre le degré d'inflammation digestive et la quantification de la radiation IR abdominale.

Matériel et méthodes : Nous avons mené cette étude prospective, monocentrique au CHU Amiens Picardie entre juin et août 2023. Des clichés abdominaux par le biais d'une caméra thermique FLIR® T560 (TELEDYNE FLIR, Portland, États-Unis) ont été réalisés afin d'établir des moyennes de rayonnement IR de l'abdomen dans sa globalité et de la fosse iliaque droite (FID). Un différentiel entre les moyennes du rayonnement de la FID et du rayonnement global (Δ (FID-Global)) a ainsi été calculé. Le critère de jugement principal était le degré de corrélation entre le Δ (FID-Global) et le taux de calprotectine fécale.

Résultats : 43 MC pédiatriques ont été inclus et 36 ont été analysés. L'âge médian était de 12 ans au diagnostic et 14 ans à l'inclusion. Le score wPCDAI moyen était de 7,5. Le taux de calprotectine moyen était de 200 μ g/g de selles. L'atteinte prédominante était iléale. Il existait une corrélation entre le taux de calprotectine fécale et Δ (FID-Global) avec un coefficient de corrélation de Spearman égal à 0,56 ($p=0,0002$). Δ (FID-Global) était prédictif d'atteinte inflammatoire digestive retrouvée à l'échographie ($p= 0,028$) ainsi que d'atteinte inflammatoire digestive à l'endoscopie ($p=0,013$). Il n'y avait pas de corrélation significative entre Δ (FID-Global) et le wPCDAI. Un seuil de 0,084 de Δ (FID-Global) était prédictif d'une élévation de la calprotectine fécale avec une sensibilité (Se) de 85% et une spécificité (Sp) de 74%. Le seuil de 0,104 était prédictif d'une atteinte endoscopique (Se de 64%, Sp de 89%). Le seuil de 0,178 était prédictif d'une atteinte échographique (Se de 56%, Sp de 94%).

Conclusion : L'utilisation de la thermographie IR dans l'évaluation de l'inflammation digestive dans le suivi de la MC pédiatrique semble pertinente. Des études à plus grande échelle pourraient venir confirmer ces résultats préliminaires.

Mot Clés : Maladie de Crohn ; Enfants ; Calprotectine fécale ; Thermographie infrarouge ; Inflammation.

ABSTRACT

Introduction: Early detection of inflammatory flare-ups remains one of the most challenging feature in pediatric Crohn's disease (CD). Monitoring is usually based on weighted Pediatric Crohn Disease Activity Index (wPCDAI), imaging, digestive endoscopy, and fecal calprotectin measurement. These tests are associated with high costs, limited availability, and invasive nature. More recently a non-invasive and reproducible technique, infrared (IR) thermography has been developed and evaluated for vascular pathologies. The aim of this study was to demonstrate a correlation between the degree of digestive inflammation and the quantification of abdominal IR radiation.

Material and methods: We conducted a prospective, single-centre study at the CHU Amiens Picardie between June and August 2023. Abdominal images were taken using a FLIR® T560 thermal camera (TELEDYNE FLIR, Portland, United States) to establish average IR radiation levels for abdomen and the right iliac fossa (RIF). A differential between the averages of the radiation from the RIF and the global radiation ($\Delta(\text{RIF-Global})$) was calculated. Primary endpoint was the correlation between $\Delta(\text{RIF-Global})$ and faecal calprotectin levels.

Results: 43 paediatric CD were included, and 36 patients were analysed. Median age at diagnosis and inclusion were 12 years old 14 years old respectively. Mean wPCDAI score was 7.5. Mean calprotectin level was 200 $\mu\text{g/g}$ stool. Ileal involvement was predominant. We evidenced a correlation between the faecal calprotectin level and the $\Delta(\text{RIF-Global})$ with a Spearman correlation coefficient equal to 0.56 ($p = 0.0002$). The $\Delta(\text{RIF-Global})$ was significantly predictive of sonographic ($p = 0.028$) and endoscopic ($p=0.013$) involvement. There was no significant correlation between $\Delta(\text{RIF-Global})$ and wPCDAI. Thresholds of the $\Delta(\text{RIF-Global})$ radiation differential predictive of digestive inflammation could be established by the Youden method and their performance illustrated by ROC curves. The threshold of 0.084 was predictive of an increase in faecal calprotectin with a sensitivity (Se) of 85% and a specificity (Sp) of 74%. The threshold of 0.104 was predictive of endoscopic damage (Se 64%, Sp 89%). The threshold of 0.178 was predictive of ultrasound involvement (Se 56%, Sp 94%).

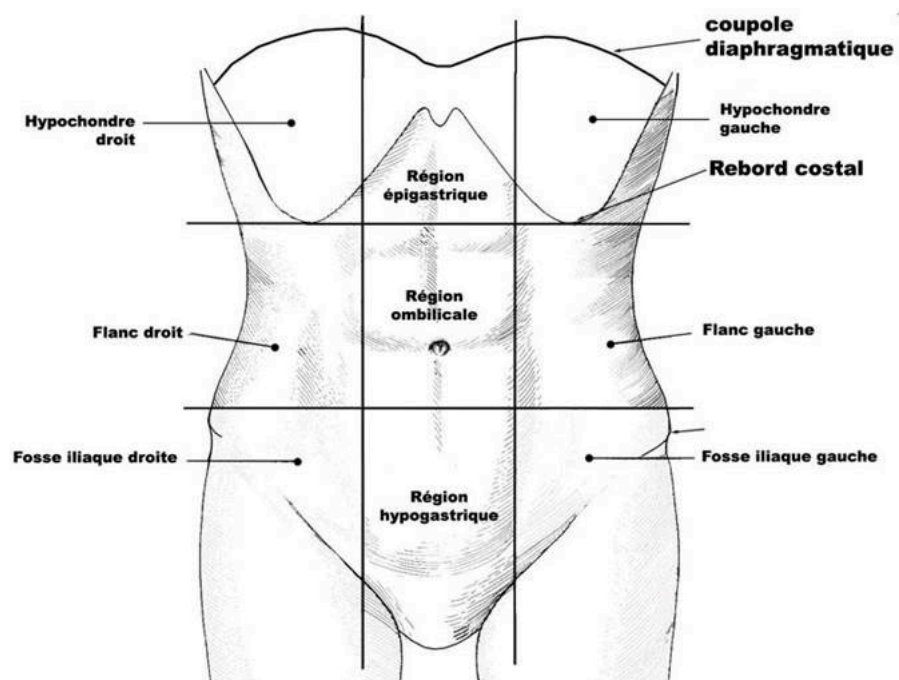
Conclusion: The use of IR thermography to assess digestive inflammation in paediatric CD appears relevant. Larger-scale studies could confirm these preliminary results.

Key words: Crohn's disease; Children; Faecal calprotectin; Infrared thermography; Inflammation.

ANNEXE



Annexe1. Caméra thermique FLIR® T560 (TELEDYNE FLIR, Portland, Etats Unis)



Annexe 2. Quadrants abdominaux

Age au diagnostic	A1a : 0-10 ans A1b : 10-17 ans A2 : 17-40 ans A3 : > 40 ans
Topographie	L1 : 1/3 iléon terminal +/- caecum L2 : colique L3 : iléocolique L4a : tractus digestif supérieur en amont du Treitz L4b : de l'angle de Treitz au 1/3 de l'iléon
Phénotype	B1 : non sténosant, non pénétrant B2 : sténosant B3 : pénétrant B2B3 : sténosant et pénétrant p: atteinte anopérinéale
Croissance	G0 : pas de ralentissement G1 : ralentissement

Annexe 3. Classification de Paris[38]

	Ulcérations profondes 12 points	Ulcérations Superficielles 6 points	Surface des lésions (0-10 cm*)	Surface des ulcérations (0-10 cm*)
Iléon	0 ou 12	0 ou 6	0-10	0-10
Côlon droit	0 ou 12	0 ou 6	0-10	0-10
Transverse	0 ou 12	0 ou 6	0-10	0-10
Côlon gauche	0 ou 12	0 ou 6	0-10	0-10
Rectum	0 ou 12	0 ou 6	0-10	0-10

*0-10 cm sur une échelle visuelle analogique

TOTAL (somme de toutes les cases) N = segment

TOTAL/nombre de segments explorés N/1 à 5

+ 3 si sténose ulcérée 0 à 3

+ 3 si sténose non ulcérée 0 à 3

CDEIS : 0 à 44

Annexe 4 : Score CDEIS [17]

	Taille des ulcérations	Étendue des ulcérations	Surface des lésions	Sténoses
Iléon	0-3	0-3	0-3	0-3
Colon droit	0-3	0-3	0-3	0-3
Colon transverse	0-3	0-3	0-3	0-3
Colon gauche	0-3	0-3	0-3	0-3
Rectum	0-3	0-3	0-3	0-3

TOTAL (somme de toutes les cases)

Taille des ulcérations :

Aucune ulcération = 0

Aphtes = 1

Ulcérations importantes (jusqu'à 2 cm)
= 2

Ulcérations très importantes (> 2 cm) =
3

Étendue des ulcérations :

Aucune ulcération = 0

< 10 % = 1

10 à 30 % = 2

30 % = 3

Étendue des lésions :

Segment non touché = 0

< 50% = 1

50 à 75 % = 2

75 % = 3

Sténoses :

Aucune sténose = 0

Sténose unique, franchissable = 1

Sténoses multiples, franchissables = 2

Sténose non franchissable = 3

Annexe 5 : Score SES-CD[17]

Localisation L1 : 1/3 distal ileo +/- caecum L2 : colon seul L3 : ileon et colon L4 : tube digestif haut				
Douleur Aucune 0 Modérée 10 Intense, nocturne 20				
Activité Pas de limitation 0 Limitée 10 Très limitée 20				
Selles Normales 0 2-5 liquides ou sang 7.5 >5 liquides ou sang++ nocturnes 15				
Vitesse de Sédimentation (mm) <20 0 20 à 50 7.5 >50 15				
Albumine (g/l) >35 0 31 à 34 10 <30 20				
Poids Gain 0 Perte 1 à 9 % 5 Perte > 10% 10				
Perinée Aucune 0 1 à 2 fistules 7.5 Fistules actives ou abcès 15				
Extradigestifs Aucun 0 Un ou plus 10				
Totale Rémission <12.5 Activité mineure 12.5 à 40 Activité modérée 40 à 57 Activité sévère >57				
Taille – Poids Surface corporelle				

Annexe 6 : Score wPCDAI[52]

Évaluation de l'inflammation intestinale par thermographie infrarouge dans une cohorte de Crohn pédiatriques

Introduction : Une des préoccupations dans la maladie de Crohn (MC) pédiatrique est la détection précoce des poussées inflammatoires. Elle repose sur le score pondéré d'activité de la MC pédiatrique (wPCDAI) et souvent sur des examens invasifs et/ou de disponibilité limitée notamment sur l'imagerie, l'endoscopie digestive, le dosage de la calprotectine fécale. Plus récemment a été développée la thermographie par rayonnement infrarouge (IR), une technique non invasive et reproductible, déjà été évaluée dans certaines pathologies vasculaires. L'objectif de cette étude était de mettre en évidence une corrélation entre le degré d'inflammation digestive et la quantification de la radiation IR abdominale.

Matériel et méthodes : Nous avons mené cette étude prospective, monocentrique au CHU Amiens Picardie entre juin et août 2023. Des clichés abdominaux par le biais d'une caméra thermique FLIR® T560 (TELEDYNE FLIR, Portland, États-Unis) ont été réalisés. Un différentiel entre les moyennes du rayonnement IR de la fosse iliaque droite (FID) et du rayonnement IR global ($\Delta(\text{FID-Global})$) a ensuite été calculé. Le critère de jugement principal était le degré de corrélation entre le $\Delta(\text{FID-Global})$ et le taux de calprotectine fécale.

Résultats : 43 MC pédiatriques ont été inclus et 36 ont été analysés. L'âge médian était de 14 ans à l'inclusion. Le score wPCDAI moyen était de 7,5. Le taux de calprotectine moyen était de 200 $\mu\text{g/g}$ de selles. L'atteinte prédominante était iléale. Il existait une corrélation entre le taux de calprotectine fécale et $\Delta(\text{FID-Global})$ avec un coefficient de corrélation de Spearman égal à 0,56 ($p = 0,0002$). $\Delta(\text{FID-Global})$ était prédictif d'atteinte inflammatoire digestive retrouvée à l'échographie ($p = 0,028$) et à l'endoscopie ($p = 0,013$). Il n'y avait pas de corrélation significative entre $\Delta(\text{FID-Global})$ et le wPCDAI. Un seuil de 0,084 de $\Delta(\text{FID-Global})$ était prédictif d'une élévation de la calprotectine fécale avec une sensibilité (Se) de 85% et une spécificité (Sp) de 74%. Le seuil de 0,104 était prédictif d'une atteinte endoscopique (Se de 64%, Sp de 89%). Le seuil de 0,178 était prédictif d'une atteinte échographique (Se de 56%, Sp de 94%).

Conclusion : L'utilisation de la thermographie IR dans l'évaluation de l'inflammation digestive dans le suivi de la MC pédiatrique semble pertinente. Des études à plus grande échelle pourraient venir confirmer ces résultats.

Mot Clés : Maladie de Crohn ; Enfants ; Calprotectine fécale ; Thermographie infrarouge ; Inflammation.

Assessment of intestinal inflammation by infrared thermography in a paediatric Crohn's cohort

Introduction: Early detection of inflammatory flare-ups remains one of the most challenging feature in pediatric Crohn's disease (CD). Monitoring is usually based on weighted Pediatric Crohn Disease Activity Index (wPCDAI), imaging, digestive endoscopy, and fecal calprotectin measurement. These tests are associated with high costs, limited availability, and invasive nature. Recently a non-invasive and reproducible technique, infrared (IR) thermography has been evaluated for vascular pathologies. The aim of this study was to demonstrate a correlation between the degree of digestive inflammation and the quantification of abdominal IR radiation.

Material and methods: We conducted a prospective, single-centre study at the CHU Amiens Picardie between June and August 2023. Abdominal images were taken using a FLIR® T560 thermal camera (TELEDYNE FLIR, Portland, United States) to establish average IR radiation levels for abdomen and the right iliac fossa (RIF). A differential between the averages of the radiation from the RIF and the global radiation ($\Delta(\text{RIF-Global})$) was calculated. Primary endpoint was the correlation between $\Delta(\text{RIF-Global})$ and faecal calprotectin levels.

Results: 43 paediatric CD were included, and 36 were analysed. Median age at inclusion was 14 years old. Mean wPCDAI score was 7.5. Mean calprotectin level was 200 $\mu\text{g/g}$ stool. Ileal involvement was predominant. We evidenced a correlation between the faecal calprotectin level and the $\Delta(\text{RIF-Global})$ with a Spearman correlation coefficient equal to 0.56 ($p = 0.0002$). The $\Delta(\text{RIF-Global})$ was significantly predictive of sonographic ($p = 0.028$) and endoscopic ($p = 0.013$) involvement. There was no significant correlation between $\Delta(\text{RIF-Global})$ and wPCDAI. The threshold of 0.084 was predictive of an increase in faecal calprotectin with a sensitivity (Se) of 85% and a specificity (Sp) of 74%. The threshold of 0.104 was predictive of endoscopic damage (Se 64%, Sp 89%). The threshold of 0.178 was predictive of ultrasound involvement (Se 56%, Sp 94%).

Conclusion: The use of IR thermography to assess digestive inflammation in paediatric CD appears relevant. Larger-scale studies could confirm these preliminary results.

Key words: Crohn's disease; Children; Faecal calprotectin; Infrared thermography; Inflammation.