

UNIVERSITE DE NANTES

FACULTE DE MEDECINE

Année : 2019

N° 2019-144

THÈSE

pour le

DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN MEDECINE

DES de PÉDIATRIE

par

Cyrielle POULLAOUEC

née le 27/01/1989 à BREST

Présentée et soutenue publiquement le 27 septembre 2019

Valeur ajoutée de la scintigraphie osseuse en complément des radiographies de squelette complet, dans le diagnostic de maltraitance physique du jeune enfant.

Président : Madame la Professeure Christèle GRAS-LEGUEN

Directeur de thèse : Madame la Professeure Christèle GRAS-LEGUEN

Remerciements

Je remercie l'ensemble des membres de mon Jury, pour avoir accepté d'y participer et de se rendre disponible le jour de la soutenance de ma thèse, la Professeure Christèle GRAS-LEGUEN, la Professeure Françoise KRAEBER-BODERE, la Professeure Élise LAUNAY et le Docteur Nathalie VABRES.

Je tiens à remercier ma directrice de thèse, la Professeure Christèle GRAS-LEGUEN pour son aide tout au long de ce travail, sa réactivité face à mes difficultés, ses relectures et corrections pendant ses vacances. Je souhaite également la remercier pour le soutien qu'elle a pu m'apporter au cours de mes longues études et la source d'inspiration qu'elle incarne pour moi sur les plans personnel et professionnel.

Je souhaite également remercier le Docteur Nathalie VABRES, sans qui cette thèse n'aurait sûrement pas vu le jour. Merci Nathalie pour l'ouverture du stage UAED, pour tout ce que tu m'as appris en protection de l'enfance et que tu continueras de m'apprendre, pour le soutien tout au long de mon dernier semestre d'internat et pour tes remarques pertinentes et justes au sujet de ma thèse.

Je remercie particulièrement Flora BLANGIS pour sa disponibilité, ses questionnements pertinents, sa rigueur et l'aide apportée à mon travail de thèse, ainsi que le Professeur Martin CHALUMEAU.

Je remercie aussi l'ensemble des membres de l'équipe de l'UAED pour nos débats passionnés, pour m'avoir intégrée et m'avoir acceptée au sein de leur équipe : le Docteur Juliette FLEURY et le Docteur Margaux LEMESLE ; Marie ROBERT et Alice PLUVINAGE, les psychologues ; Pauline DUVAL et Nathalie DUPONT, les secrétaires.

Je remercie également tous les docteurs que j'ai pu croiser sur mon chemin et qui m'ont inspirée tout au long de mon internat, tout particulièrement le Docteur Georges PICHEROT et le Docteur Bénédicte VRIGNAUD, que j'ai admirés lors de mon externat et à qui je dois ma vocation de pédiatre. Merci également à la Professeure Elise LAUNAY (si exacte, toujours disponible et souriante).

Merci à mes formidables parents Florence et Michel, à mes beaux-parents, Yves et Laurence ; pour avoir su, dès ma première année de médecine et depuis toujours, me soutenir et me permettre de travailler dans les meilleures conditions possibles. Un merci tout particulier à ma mère pour son soutien indéfectible au quotidien pendant mes études, à qui je dois ma volonté de travailler et qui m'inspire chaque jour par son courage. Un grand merci à mon frère Jérémy (et ma belle-sœur Lola), qui ont su me soutenir et m'entourer de leur présence inconditionnelle (avec code de jour et code de nuit), en m'écoutant (beaucoup) et en m'offrant un petit filleul à chérir. Merci à ma belle-mère Maryline, d'avoir toujours été là pour me soutenir et m'écouter (beaucoup). Merci à Déborah et Laëtitia, mes « demies-sœurs ».

Enfin je remercie mon chéri, Samuel pour m'avoir supportée depuis déjà plus de 10 ans, pour le meilleur et aussi le pire ! Merci à toi pour m'avoir offert deux mini-nous adorables (presque tous les jours), Mila et Maël.

Table des matières

Table des Figures.....	5
Table des Tableaux.....	5
Abréviations	6
Introduction	7
Matériel et Méthodes.....	9
1. <i>Design de l'étude</i>	9
2. <i>Population de l'étude</i>	9
3. <i>Recueil des données : méthode et type de données recueillies</i>	10
4. <i>Imagerie : technique et interprétation</i>	10
5. <i>Critères de jugement</i>	12
a) Critère de jugement principal.....	12
b) Critères de jugement secondaires.....	12
6. <i>Analyses statistiques</i>	13
7. <i>Cadre légal et autorisations</i>	14
Résultats	15
1. <i>Flow-chart de l'étude</i>	15
2. <i>Analyse de la cohorte</i>	16
a) Caractéristiques démographiques	16
b) Caractéristiques cliniques.....	17
c) Patients suspects de maltraitance physique ayant fait l'objet de RSC et d'une SO, versus patients avec RSC seules	19
3. <i>Résultats des RSC et de la SO</i>	21
a) Précisions sur la réalisation des examens	21
b) Stratégie diagnostique et résultats des examens complémentaires : RSC, SO et radiographies de contrôle	21
c) Tableau de contingence	22
4. <i>Résultats du critère de jugement principal</i>	22
5. <i>Résultats des critères de jugement secondaires</i>	23
a) Lorsque l'unité est l'enfant.....	23
b) Lorsque l'unité est la lésion squelettique.....	23

6. Discordances entre RSC et SO.....	26
a) « Faux-positifs » de la SO	26
b) « Faux-négatifs » de la SO	27
c) Autres	27
<u>Discussion</u>	<u>28</u>
1. Principaux résultats de l'étude	28
2. Forces et Limites de l'étude	29
3. Analyse de la Littérature	31
<u>Conclusion</u>	<u>32</u>
<u>Références Bibliographiques</u>	<u>34</u>

Table des Figures

<u>Figure 1</u> : Diagramme de flux de l'étude.....	14
<u>Figure 2</u> : Répartition des patients inclus dans l'étude, par âge à la réalisation des examens.	15
<u>Figure 3</u> : Patients suspects de maltraitance physique ayant fait l'objet soit de RSC et d'une SO, soit de RSC seules, selon les années d'inclusion dans l'étude.....	18
<u>Figure 4</u> : Flow-chart représentant les stratégies et résultats des examens complémentaires, avec pour unité l'enfant.	21
<u>Figure 5</u> : Flow-chart représentant les stratégies et résultats des examens complémentaires, avec pour unité la lésion squelettique	24

Table des Tableaux

<u>Tableau 1</u> : Tableau de contingence de l'étude (méthodologie).....	12
<u>Tableau 2</u> : Symptômes évocateurs de maltraitance physique.....	16
<u>Tableau 3</u> : Répartition des fractures inaugurales, en fonction de leur localisation squelettique.....	17
<u>Tableau 4</u> : Caractéristiques des enfants suspects de maltraitance physique ayant fait l'objet de RSC seules.....	19
<u>Tableau 5</u> : Tableau de contingence de l'étude (résultats).....	21
<u>Tableau 6</u> : Répartition des fractures supplémentaires détectées par les RSC et par la SO, selon leurs localisations squelettiques.....	23
<u>Tableau 7</u> : Répartition des lésions squelettiques supplémentaires détectées par la SO, non confirmées par les radiographies de contrôle.....	25

Abréviations

AAP : American Academic of Paediatrics

ACR : American College of Radiology

BSPR : British Society of Paediatric Radiology

CHU : Centre Hospitalier Universitaire

HAS : Haute Autorité de Santé

IRM : Imagerie par Résonance Magnétique

mSv : millisievert

PMSI : Programme de Médicalisation des Systèmes d'Information

RSC : Radiographies de Squelette Complet

SO : Scintigraphie Osseuse

Tc^{99m} : Technécium^{99m}

TEP-scan : Tomographie par Emission de Positons

UAED : Unité d'Accueil des Enfants en Danger

Introduction

En France en 2017, selon le 13^{ème} rapport de l'Observatoire National de la protection de l'Enfance, 308 400 mineurs bénéficiaient d'une mesure de protection administrative ou judiciaire et 100 mineurs sont décédés des suites de maltraitance physique, dont 67 en intrafamilial, majoritairement âgés de moins de 5ans (1). A l'échelle internationale, l'Organisation Mondiale pour la Santé estime le nombre de décès d'enfants de moins de 15 ans, des suites de maltraitance ou de négligence, à 155 000 par an (2).

La maltraitance physique est définie par « l'usage intentionnel de la force physique sur un enfant et qui entraîne un préjudice réel pour la santé » (3). En pratique, les lésions squelettiques traumatiques non accidentelles sont les 2^{ndes} lésions les plus fréquentes, après les lésions cutané-muqueuses (4–7). La découverte de lésions squelettiques non accidentelles peut survenir dans un contexte orthopédique, mais également dans le cadre du bilan d'extension de lésions traumatiques hautement suspectes de maltraitance physique : lésions cutané-muqueuses sentinelles, lésions intracrâniennes suspectes de traumatisme crânien non accidentel (4,8). Les lésions squelettiques les plus évocatrices de maltraitance physique chez l'enfant sont les fractures costales des arcs moyens et postérieurs (9–11), les fractures métaphysaires des membres (9,12), les fractures axiales (rachis, bassin) et les fractures des extrémités (13).

Devant toute suspicion de traumatisme non accidentel, l'AAP (American Academic of Paediatrics) (14), l'ACR (American College of Radiology) (15), la BSPR (British Society of Paediatric Radiology) (16) et la HAS (Haute Autorité de Santé) (17) préconisent la réalisation de radiographies de squelette complet (RSC) de façon systématique avant l'âge de 2 ans (18,19). Ces recommandations consistent en la réalisation d'une vingtaine de clichés radiographiques codifiés (14–19). Les radiographies ont l'avantage d'être facilement accessibles en milieu hospitalier. Lorsqu'elles sont réalisées en accord avec les recommandations, la dose radioactive cumulée des RSC reste faible, approximativement équivalente à 30 jours d'irradiation naturelle [0.1 à 0.5 millisievert (mSv)] (20). Actuellement, la sémiologie des lésions squelettiques traumatiques non accidentelles est bien décrite dans la littérature, mais leur diagnostic reste difficile précocement et/ou dans certaines localisations du squelette spécifiques de maltraitance physique, comme dans les régions métaphysaires (21,22). L'interprétation des RSC nécessite donc d'être effectuée par des radiologues expérimentés et spécifiquement formés dans le diagnostic de maltraitance physique, en raison d'une sensibilité de cet examen parfois médiocre. Afin de pallier à ce manque de sensibilité et

en l'absence de test de référence validé ; les recommandations actuelles proposent deux stratégies pour détecter les lésions squelettiques non accidentelles, non détectées par les RSC : la réalisation précoce d'une scintigraphie osseuse (SO) ou la réalisation de RSC de suivi à 15 jours des RSC initiales (17) (cf. Annexe 1). Les études montrent que la réalisation de RSC de suivi permettrait la mise en évidence de nouvelles lésions squelettiques dans 46 à 61% des cas (23,24) ; et permettrait la datation des fractures, en cas de constatation d'appositions périostées sur les diaphyses des os longs et/ou de cals osseux, signes du remodelage osseux post-fracturaire (14,23–25). La SO, qui évalue la distribution vasculaire, tissulaire puis squelettique d'un traceur radioactif injecté par voie intraveineuse (Technécium^{99m} (Tc^{99m})), permet de repérer toute activité ostéoblastique accrue, dont les lésions fracturaires (26–29). Lorsque la SO est réalisée en accord avec les recommandations de l'European Association of Nuclear Medicine (27), la dose radioactive cumulée reste tolérable et sans effet secondaire démontré, approximativement équivalente à une année d'irradiation naturelle (2.3 mSv) (20,30). En cas de forte suspicion de maltraitance physique ; la SO, considérée comme un test diagnostique complémentaire après des RSC initiales négatives serait donc susceptible d'améliorer le taux de détection des lésions squelettiques traumatiques diagnostiquées par les RSC ; et notamment dans certaines localisations spécifiques de maltraitance physique : côtes, diaphyses des os longs, rachis, bassin et extrémités (4,9,21,22,25,31). Cette stratégie diagnostique consistant à prescrire un examen complémentaire supplémentaire en cas de premier test négatif est dite en « add-on » (25) (cf. Annexe 2).

Dans ce contexte, quelques études (21,22,25,31–35), dont une revue systématique de la littérature (25) ont suggéré l'intérêt de la SO, en complément des RSC. Nous faisons donc l'hypothèse ici, que chez les jeunes enfants suspects de maltraitance physique, la SO positionnée comme un test complémentaire en add-on après des RSC initiales négatives, pourrait permettre d'augmenter significativement le taux de détection des lésions squelettiques traumatiques. L'objectif principal de cette étude était donc d'estimer le gain absolu du taux de détection des lésions squelettiques, par la SO positionnée en add-on après des RSC initiales négatives. Les objectifs secondaires de notre étude étaient de préciser si une SO systématique (y compris en cas de fractures visualisées sur les RSC), pourrait permettre d'apporter des informations utiles pour la prise en charge de la maltraitance physique de l'enfant.

Matériel et Méthodes

1. Design de l'étude

Nous avons réalisé une étude épidémiologique, observationnelle descriptive, rétrospective, monocentrique.

2. Population de l'étude

Critères d'Eligibilité

Tous les patients de moins de 3 ans, qui consultaient au Centre Hospitalier Universitaire (CHU) de Nantes, consécutivement, entre janvier 2013 et juillet 2019 ; pour lesquels les données du codage des actes de radiologie montraient qu'ils avaient fait l'objet de RSC ou d'une SO, étaient éligibles. L'identification des enfants éligibles par leur codage, a porté sur les unités d'hospitalisation du CHU de Nantes suivantes : Urgences Pédiatriques, Unité d'Accueil des Enfants en Danger, Pédiatrie Communautaire, Chirurgie Orthopédique Pédiatrique, Unité de Soins Continus Pédiatriques et Réanimation Pédiatrique.

Critères d'inclusion et d'exclusion :

Les patients éligibles étaient ensuite sélectionnés sur l'indication à la réalisation de ces deux examens : seuls ceux avec une suspicion de traumatisme non accidentel étaient inclus. Cette suspicion diagnostique de maltraitance physique pouvait être explicite en raison de l'intitulé du codage du Programme de Médicalisation des Systèmes d'Information (PMSI) : « Sévices physiques », « Violences physiques », « Ecchymoses spontanées », « Délaissement et abandon », « Syndrome dû à des mauvais traitements », « Difficultés liées à l'environnement social » ; ou en raison de la mention dans les comptes rendus médicaux d'une « Suspicion de traumatisme infligé /non accidentel » ou d'une « Suspicion de maltraitance physique ». D'autres intitulés du codage PMSI pouvaient faire suspecter une maltraitance physique : « Fracture d'un membre », « Brûlures », « Hémorragie sous-durale traumatique » ou « Lésion traumatique intracrânienne » ou « Commotion cérébrale ». Lorsqu'à la lecture du codage PMSI, la suspicion de traumatisme non accidentel était peu explicite tel que devant les intitulés « Bronchiolite » ou « Vomissements », les inclusions étaient confirmées par la lecture du dossier médical.

Les patients dont les deux examens avaient été réalisés dans un autre contexte clinique étaient exclus : suspicion d'infection ostéo-articulaire, de maladie osseuse constitutionnelle ou de cancer.

3. Recueil des données : méthode et type de données recueillies

Les données ont été recueillies rétrospectivement dans les dossiers informatisés du CHU de Nantes, à l'aide des logiciels POWERCHART et CLINICOM TSA. Il s'agissait de colliger au sein d'un tableau Excel anonymisé :

- Les données épidémiologiques des patients : mois et années de naissance, sexe des patients.
- Les données en lien avec le contexte clinique de réalisation des examens : « Ecchymoses », « Lésions intra-buccales », « Brûlures », « Hémorragies conjonctivales », « Fractures », « Lésion intracrânienne », « Aveu de maltraitance », « Maltraitance de la fratrie », « Autres ».
- Les données en lien avec les modalités de réalisation des examens : les dates des deux examens d'imagerie nous permettant de calculer l'intervalle entre les deux examens et l'âge du patient au moment de la réalisation des examens ; le caractère « en aveugle » de l'interprétation initiale des RSC.
- Les données en lien avec les résultats des examens : le caractère pathologique ou non des examens ; le nombre et la localisation des fractures, si l'examen était pathologique ; la concordance entre les résultats des deux examens (RSC et SO).

4. Imagerie : technique et interprétation

Technique

Les RSC étaient réalisées dans le service de radiologie pédiatrique du CHU de Nantes, selon les recommandations de l'HAS (17) et comprenaient de 19 à 21 clichés centrés : radiographies du crâne de face et de profil, radiographies de thorax de face, radiographies du rachis entier (cervical, thoracique et lombaire) de profil (et de face : radiographies du thorax et radiographies de l'abdomen sans préparation), radiographies des membres supérieurs de face (bras, avant-bras, mains), radiographies des membres inférieurs de face (cuisses, jambes, pieds), radiographies du bassin de face. Une incidence de profil sur le grill costal pouvait être réalisée en sus s'il y avait une suspicion de fracture costale.

Les SO étaient réalisées dans le service de médecine nucléaire du CHU de Nantes selon les recommandations de la Société Française de Médecine Nucléaire. L'acquisition s'effectuait en « corps entier », sur trois temps : un premier temps d'injection du traceur radioactif (diphosphate-Tc^{99m}), un deuxième temps d'acquisition tissulaire à 20 minutes de l'injection et un troisième temps d'acquisition osseuse à 2-3 heures de l'injection. Les doses du radio traceur étaient adaptées au poids de l'enfant, selon les recommandations de l'EANM (27). Les appareils utilisés étaient la Gamma camera Siemens Symbia T2 ou Intevo 2.

Des radiographies de contrôle, centrées sur un ou plusieurs segments de membres, de face et de profil, étaient réalisées entre J10 et J15 des RSC, en cas de doute à la SO et à l'appréciation du clinicien.

Interprétation

L'interprétation des différents examens d'imagerie était réalisée par les médecins radiologues spécialistes respectifs, selon les recommandations internationales en vigueur, non en aveugle de la suspicion de maltraitance physique. Le caractère aveugle de l'interprétation des RSC et des SO, par rapport à leurs résultats respectifs, a été vérifié sur les comptes rendus d'interprétation des examens, qui mentionnaient les résultats disponibles au moment de l'interprétation.

Les RSC étaient considérées comme positives lorsqu'elles détectaient au moins une fracture occulte (36), c'est-à-dire au moins une fracture supplémentaire différente de la/les fracture(s) inaugurale(s) motivant la consultation.

La SO était considérée comme positive lorsqu'elle détectait au moins une fracture occulte et que cette lésion n'était pas caractérisée par les termes « aspécifique », « positionnel », « malformatif » ou « réactionnel ».

5. Critères de jugement

a) Critère de jugement principal

L'unité de mesure était l'enfant. Le critère de jugement principal était **le gain absolu du taux de détection des lésions squelettiques, en utilisant la SO en add-on après des RSC négatives** ; soit la proportion d'enfants supplémentaires diagnostiqués par la SO. Il correspond au rapport entre le nombre de patients présentant au moins une fracture à la SO lorsque les RSC sont négatives, et le nombre total de patients. Le nombre total de patients correspond au nombre de patients inclus ayant fait l'objet de RSC et d'une SO, dans le cadre d'une suspicion de maltraitance physique.

b) Critères de jugement secondaires

L'unité de mesure étant l'enfant :

- **Le taux de détection des lésions squelettiques par les RSC seules.** Ce taux correspond au nombre de patients présentant au moins une fracture aux RSC (quel que soit le résultat de la SO), rapporté au nombre de patients total.
- **Le taux de détection des lésions squelettiques par les RSC et la SO en add-on.** Ce taux correspond à la somme entre le nombre de patients présentant au moins une fracture aux RSC (quel que soit le résultat de la SO) et le nombre de patients présentant au moins une fracture à la SO lorsque les RSC sont négatives, rapporté au nombre de patients total.
- **Le nombre de SO nécessaires pour détecter un enfant en plus,** avec une lésion squelettique supplémentaire, lorsque les RSC sont négatives. Ce taux correspond à l'inverse du rapport entre le nombre d'enfants présentant au moins une fracture à la SO lorsque les RSC sont négatives et le nombre d'enfants avec des RSC négatives.

L'unité de mesure étant la lésion squelettique :

- Le nombre et la localisation des fractures inaugurales sur les RSC.
- Le nombre et la localisation des fractures supplémentaires (ou occultes), sur les RSC et la SO.

6. Analyses statistiques

Nous avons réalisé un tableau de contingence, à partir des données recueillies (cf. Tableau 1), en précisant le nombre de patients dont les RSC étaient négatives et positives et les résultats de la SO dans chacune de ces conditions. Ce tableau 2 x 2 nous a ensuite permis de calculer l'estimation des différents critères de jugement, principal et secondaires.

Tableau 1 : Tableau de contingence de l'étude (méthodologie).

	Scintigraphie osseuse +	Scintigraphie osseuse -	TOTAL
Radiographies de squelette complet +	a	b	a + b
Radiographies de squelette complet -	c	d	c + d
TOTAL	a + c	b + d	a + b + c + d

Critère de jugement principal :

Le gain absolu du taux de détection des lésions squelettiques avec la SO en add-on, après des RSC négatives, était obtenu à partir du tableau de contingence par la formule : $c / (a+b+c+d)$.

Critères de jugement secondaires :

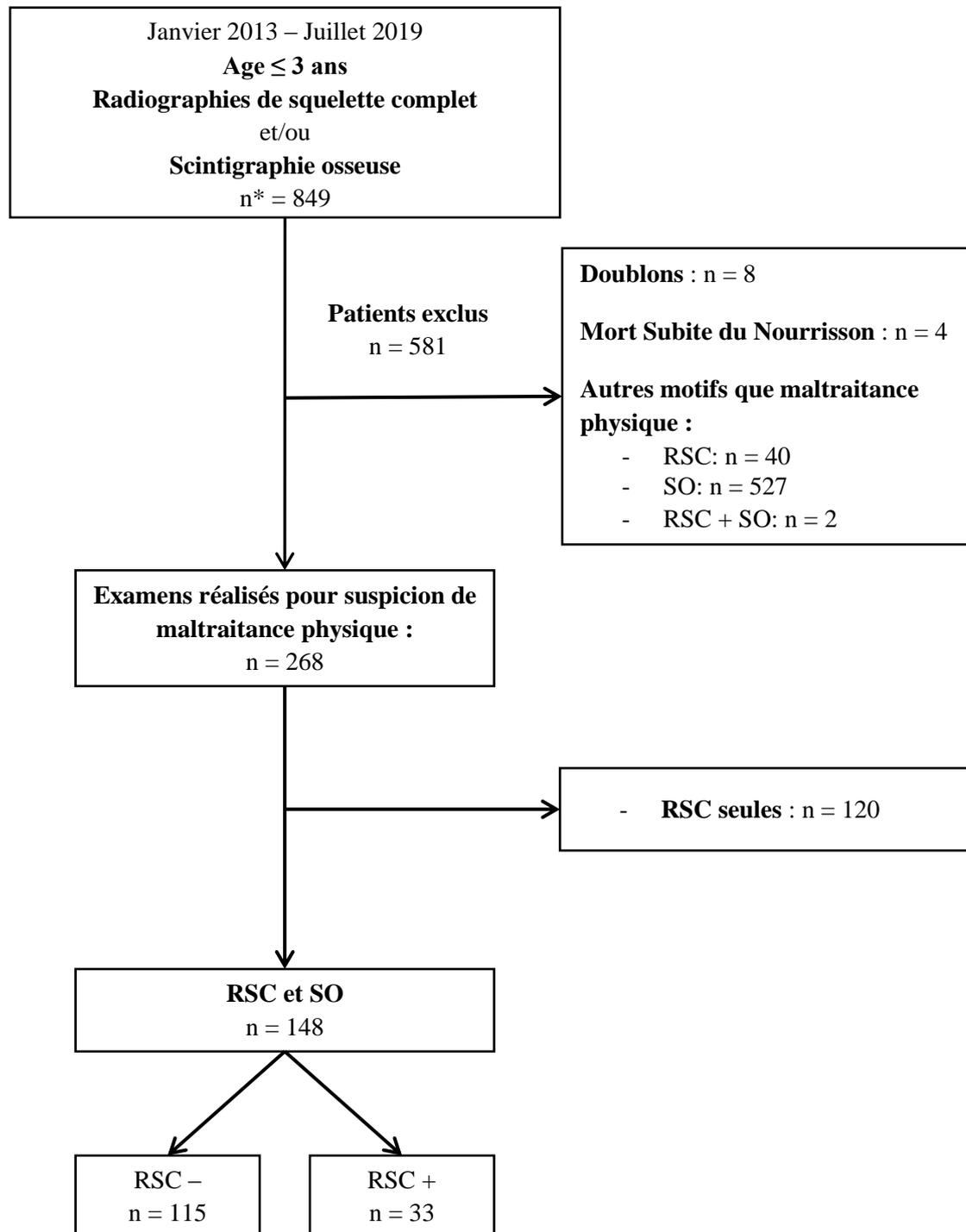
- Le taux de détection des lésions squelettiques par les RSC seules était estimé à partir du tableau de contingence par la formule : $(a+b) / (a+b+c+d)$.
- Le taux de détection des lésions squelettiques par les RSC et la SO en add-on était estimé à partir du tableau de contingence par la formule : $[(a+b)+c] / (a+b+c+d)$.
- Le nombre de SO nécessaires pour détecter un enfant en plus, avec une lésion squelettique supplémentaire, lorsque les RSC sont négatives, était calculé à partir du tableau de contingence par la formule : $1 / [c/(c+d)]$.

7. Cadre légal et autorisations.

Il s'agit d'une étude réalisée hors loi Jardé. Une information par voie d'affichage (flyers, affiches dans les salles d'attente) concernant l'utilisation potentielle des données médicales est délivrée à l'admission de tous les patients dans chacun des services de pédiatrie concernés par cette étude depuis 2013.

Résultats

1. Flow-chart de l'étude



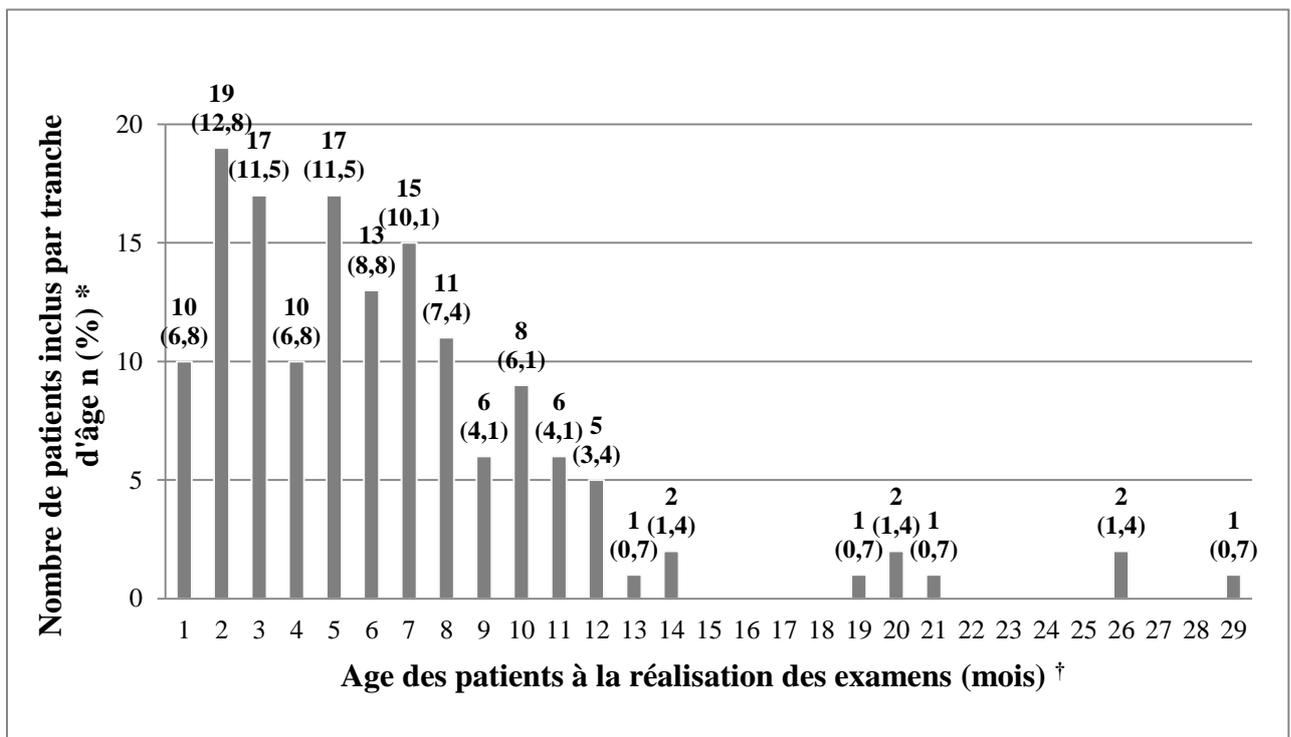
* Les données sont des effectifs $n = x$; RSC : Radiographies de Squelette Complet ; SO : Scintigraphie Osseuse

Figure 1 : Diagramme de flux de l'étude.

2. Analyse de la cohorte

a) *Caractéristiques démographiques*

La population de l'étude était composée de 81 garçons pour 67 filles soit un ratio garçon/fille de 1.2. L'âge moyen des enfants lors la suspicion de maltraitance physique et donc lors de la réalisation des examens était de 6.5 mois (± 4.95) pour une médiane à 6 mois [1;29] et tous les patients étaient âgés de moins de 3 ans. La répartition des patients selon leur âge, au moment de la réalisation des examens est représentée dans la figure 2.



*Les données sont des effectifs en valeur absolue, avec pourcentages : n (%)

†L'âge des patients au moment de la réalisation des RSC et de la SO est exprimé en mois.

Figure 2.: Répartition des patients inclus dans l'étude, par âge à la réalisation des examens. Représentation histogramme de la répartition des enfants inclus dans l'étude (en valeur absolue et en % du nombre total d'enfants inclus), selon leur âge à la réalisation des RSC et de la SO (en mois).

b) Caractéristiques cliniques

Symptômes évocateurs de maltraitance physique

Les symptômes évocateurs de maltraitance physique, ayant conduit à la réalisation des RSC et de la SO sont représentés dans le tableau 2.

Tableau 2 : Symptômes évocateurs de maltraitance physique.

Symptômes évocateurs de maltraitance physique	Effectif * (n = 148)
Lésions cutanéomuqueuses	53 (35.8)
Fractures inaugurales	47 (31.8)
Lésion intracrânienne	37 (25)
Aveu maltraitance	6 (4)
Autres	4 (2.7)
Maltraitance dans la fratrie	1 (0.7)

** Les données sont des effectifs en valeur absolue, avec pourcentages n (%).*

46% (n=17) des patients avec des lésions intracrâniennes présentaient également une ou des fractures associées. 91% (n=48) des lésions cutanéomuqueuses étaient des ecchymoses, 7% (n=4) étaient des brûlures, 2% (n=1) étaient des lésions endo-buccales, et 0% des hémorragies conjonctivales.

Fractures inaugurales

Le nombre et la localisation des fractures inaugurales sur les RSC initiales, sont colligés dans le tableau 3 : 57 fractures inaugurales étaient réparties chez 47 patients.

Parmi les 47 patients, 6 enfants présentaient un tableau clinique initial pluri-fracturaires (≥ 2 fractures).

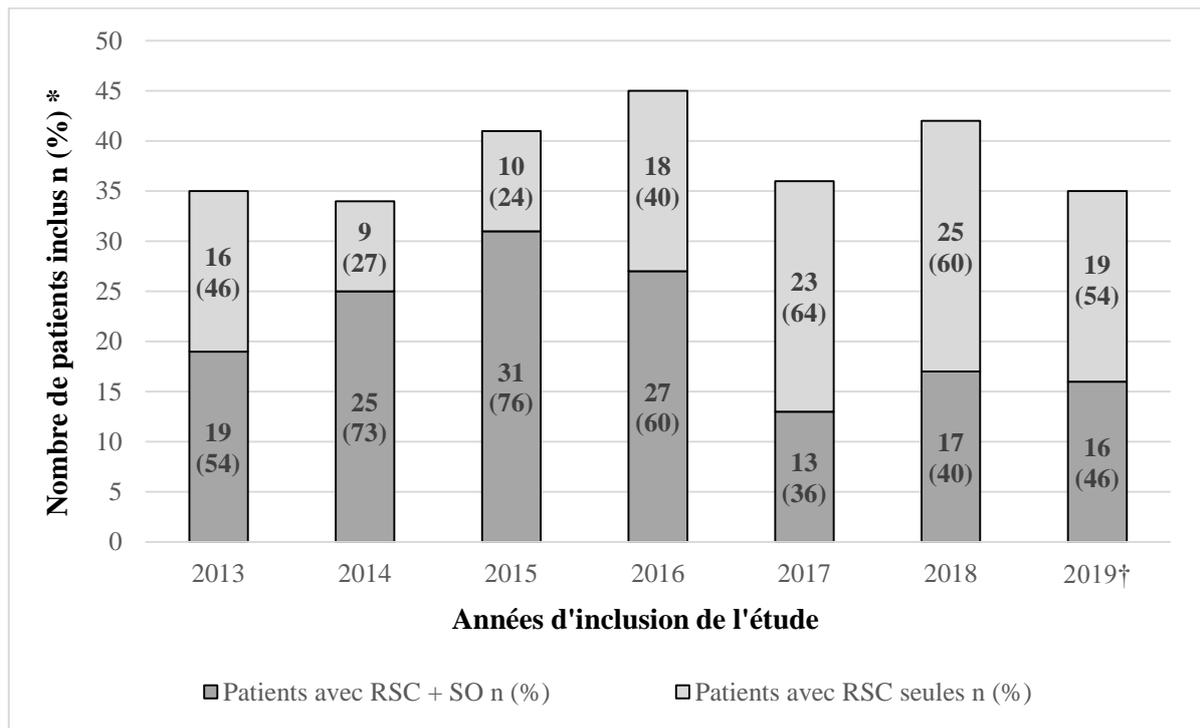
Tableau 3 : Répartition des fractures inaugurales, en fonction de leur localisation squelettique.

Localisations squelettiques	Nombre de lésions squelettiques * (n = 57)
Crâne	5 (8.8)
Clavicules	3 (5.3)
Humérus	5 (8.8)
Radius	5 (8.8)
Ulna	3 (5.3)
Mains	2 (3.5)
Omoplates	0 (0)
Grill costal	1 (1.7)
Rachis	0 (0)
Bassin	0 (0)
Fémurs	20 (35)
Tibia	13 (22.8)
Fibula	0 (0)
Pieds	0 (0)

* Les données sont des effectifs en valeur absolue, avec pourcentages n (%).

c) Patients suspects de maltraitance physique ayant fait l'objet de RSC et d'une SO, versus patients avec RSC seules

Les proportions de patients suspects de maltraitance physique, ayant fait l'objet à la fois de RSC et d'une SO, comparativement à l'ensemble des patients suspects de maltraitance physique (ayant fait l'objet soit de RSC et d'une SO, soit de RSC seules), sont représentées dans la figure 3, selon leur année d'inclusion.



* Les données sont des effectifs en valeur absolue, avec pourcentages n (%).

† Les résultats de l'année de 2019, correspondent aux 6 premiers mois de l'année : janvier – juillet inclus.

RSC : Radiographies de Squelette complet ; SO : Scintigraphie osseuse

Figure 3 : Patients suspects de maltraitance physique ayant fait l'objet soit de RSC et d'une SO, soit de RSC seules, selon les années d'inclusion dans l'étude.

Les caractéristiques des patients suspects de maltraitance physique ayant fait l'objet de RSC seules, sont colligées dans le tableau 4.

Tableau 4 : Caractéristiques des enfants suspects de maltraitance physique ayant fait l'objet de RSC seules.

Variables	Moyenne (écart – type) [min-max]	Effectif * (n = 120)
Sexe		
Masculin		64 (53,3)
Féminin		56 (46,7)
Age (en mois) lors de la radiographie	8,5 (± 8,2) [0-34]	
Symptômes évocateurs de maltraitance physique		
Lésions cutanéomuqueuses		39 (32,5)
Autres		35 (29,2)
Fractures inaugurales		27 (22,5)
Lésion intracrânienne		13 (10,8)
Aveu maltraitance		5 (4,2)
Maltraitance dans la fratrie		1 (0,8)

** Les données sont des effectifs en valeur absolue, avec pourcentages n (%).*

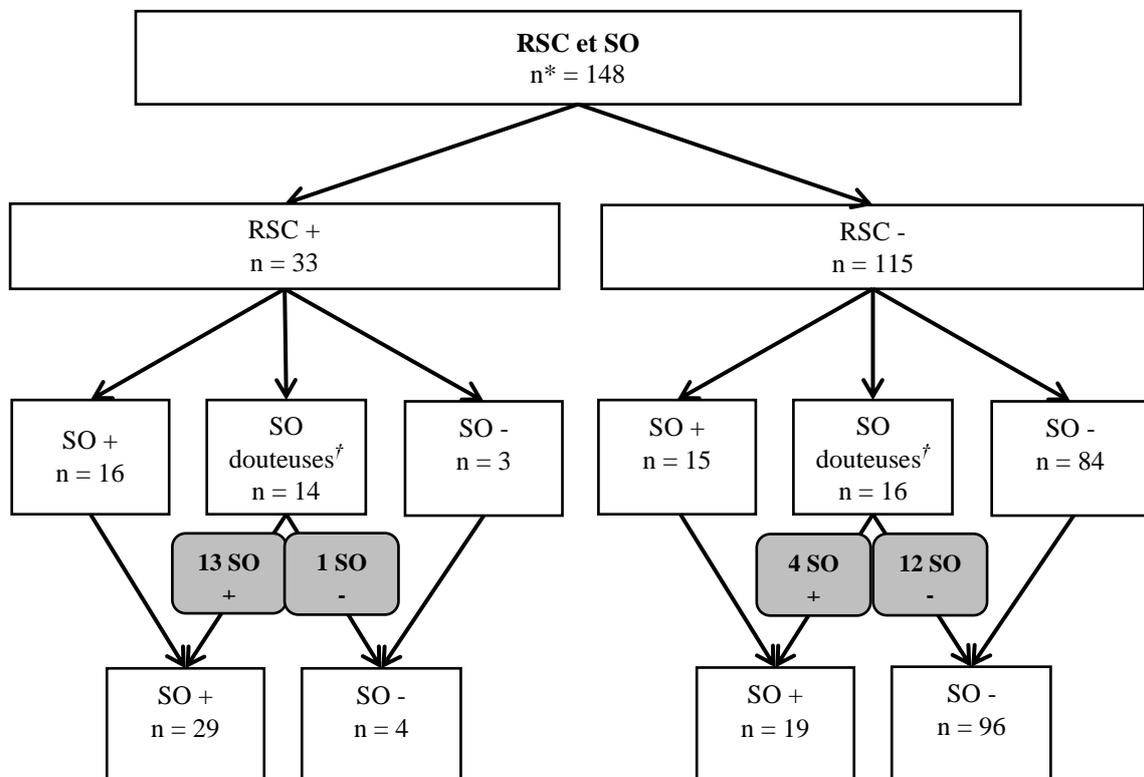
Les patients suspects de maltraitance physique ayant fait l'objet de RSC seules, étaient en moyenne âgés de 2 mois de plus que ceux avec RSC et SO. Les symptômes évocateurs de maltraitance physique les plus fréquemment retrouvés chez les patients avec RSC seules, étaient - comme chez les patients avec RSC et SO - les lésions cutanéomuqueuses (32.5%). Puis à la différence des patients avec RSC et SO, les motifs évocateurs de maltraitance physique étaient « Autres » pour 29.2% des patients, des lésions squelettiques pour 22.5% d'entre eux et des lésions intracrâniennes pour 10.8% d'entre eux.

3. Résultats des RSC et de la SO

a) Précisions sur la réalisation des examens

Le délai médian entre la réalisation des deux examens était de 1 jour \pm 2.3 [0-13]. 15 enfants ont fait l'objet d'une SO avant les RSC et pour 12 enfants (8.1%), le délai entre les deux examens était strictement supérieur à 96 heures.

b) Stratégie diagnostique et résultats des examens complémentaires : RSC, SO et radiographies de contrôle



RSC : Radiographies de Squelette complet ; SO : Scintigraphie osseuse

* Les données sont des effectifs en valeur absolue, dont l'unité est le patient

† Les données correspondent aux effectifs de patients avec radiographies de contrôle positives et négatives.

Figure 4 : Flow-chart représentant la stratégie et les résultats des examens

complémentaires, avec pour unité l'enfant. Diagramme de flux représentant la stratégie diagnostique complète avec RSC et SO.

Sur les 148 SO réalisées au cours de l'étude pour suspicion de maltraitance physique, 87 SO ont été considérées comme strictement négatives à la première interprétation (84+3).

Parmi les 61 SO restantes (31+30), 31 SO ont été considérées comme positives et 30 SO ont été considérées comme douteuses.

Les 30 SO considérées comme douteuses ont fait l'objet de radiographies de contrôle à 10-15 jours des RSC et ont donc été reclassées. La positivité de la SO a été confirmée pour 17 d'entre elles (13+4), et infirmées pour les 13 autres (1+12).

Au total 48 SO étaient positives (31+17) (cf. figure 4)

c) Tableau de contingence

Les résultats des RSC et des SO ont été colligés dans un tableau de contingence (cf. tableau 5).

Tableau 5 : Tableau de contingence de l'étude (résultats).

	Scintigraphie osseuse +	Scintigraphie osseuse -	TOTAL
Radiographies de squelette complet +	29	4	33
Radiographies de squelette complet -	19	96	115
TOTAL	48	100	148

4. Résultats du critère de jugement principal

Le gain absolu du taux de détection des lésions squelettiques, en utilisant la SO en add-on après des RSC négatives est calculé par le rapport entre : le nombre de patients présentant au moins une fracture à la SO lorsque les RSC sont négatives (n=19) et le nombre total de patients ayant bénéficié de RSC et d'une SO dans le cadre d'une suspicion de maltraitance physique (n=148).

Gain absolu du taux de détection des lésions squelettiques avec les RSC + SO en add-on :

$$c / (a+b+c+d) = 19/148 = \mathbf{12.8\%}$$

5. Résultats des critères de jugement secondaires

a) Lorsque l'unité est l'enfant

Le taux de détection des lésions squelettiques par les RSC seules est calculé par le rapport entre : le nombre de patients présentant au moins une fracture aux RSC (quel que soit le résultat de la SO) (n=33) et le nombre de patients total (n=148).

Taux de détection des lésions squelettiques par les RSC seules :

$$(a+b) / (a+b+c+d) = 33/148 = \mathbf{22.3\%}$$

Le taux de détection des lésions squelettiques par les RSC et la SO en add-on est calculé par le rapport entre : la somme du nombre de patients présentant au moins une fracture aux RSC (n=33) et du nombre de patients présentant au moins une fracture à la SO lorsque les RSC sont négatives (n=19), et le nombre de patients total (n=148).

Taux de détection des lésions squelettiques avec les RSC et la SO en add-on :

$$[(a+b)+c] / (a+b+c+d) = (33+19)/148 = \mathbf{35.1\%}$$

Le nombre de SO nécessaires pour détecter un enfant en plus, avec une lésion squelettique supplémentaire est calculé par l'inverse du rapport entre : le nombre d'enfants présentant au moins une fracture à la SO lorsque les RSC sont négatives (n=19) sur le nombre total d'enfants avec des RSC négatives (n=115).

Nombre de SO nécessaires pour détecter un enfant supplémentaire :

$$1 / [c/(c+d)] = 1 / (19/115) = \mathbf{6.05 \text{ soit } 6 \text{ SO}}$$

b) Lorsque l'unité est la lésion squelettique

La prévalence totale des lésions squelettiques chez les enfants suspects de maltraitance physique était de 28% (75/268) : 27/120 patients avec RSC seules et 48/148 patients avec RSC et SO.

Chez les patients inclus dans l'étude, le nombre et la localisation des fractures supplémentaires détectées aux RSC et à la SO sont colligés dans le tableau 6. La SO a permis de détecter 45 lésions squelettiques supplémentaires (128-83), non détectées par les RSC,

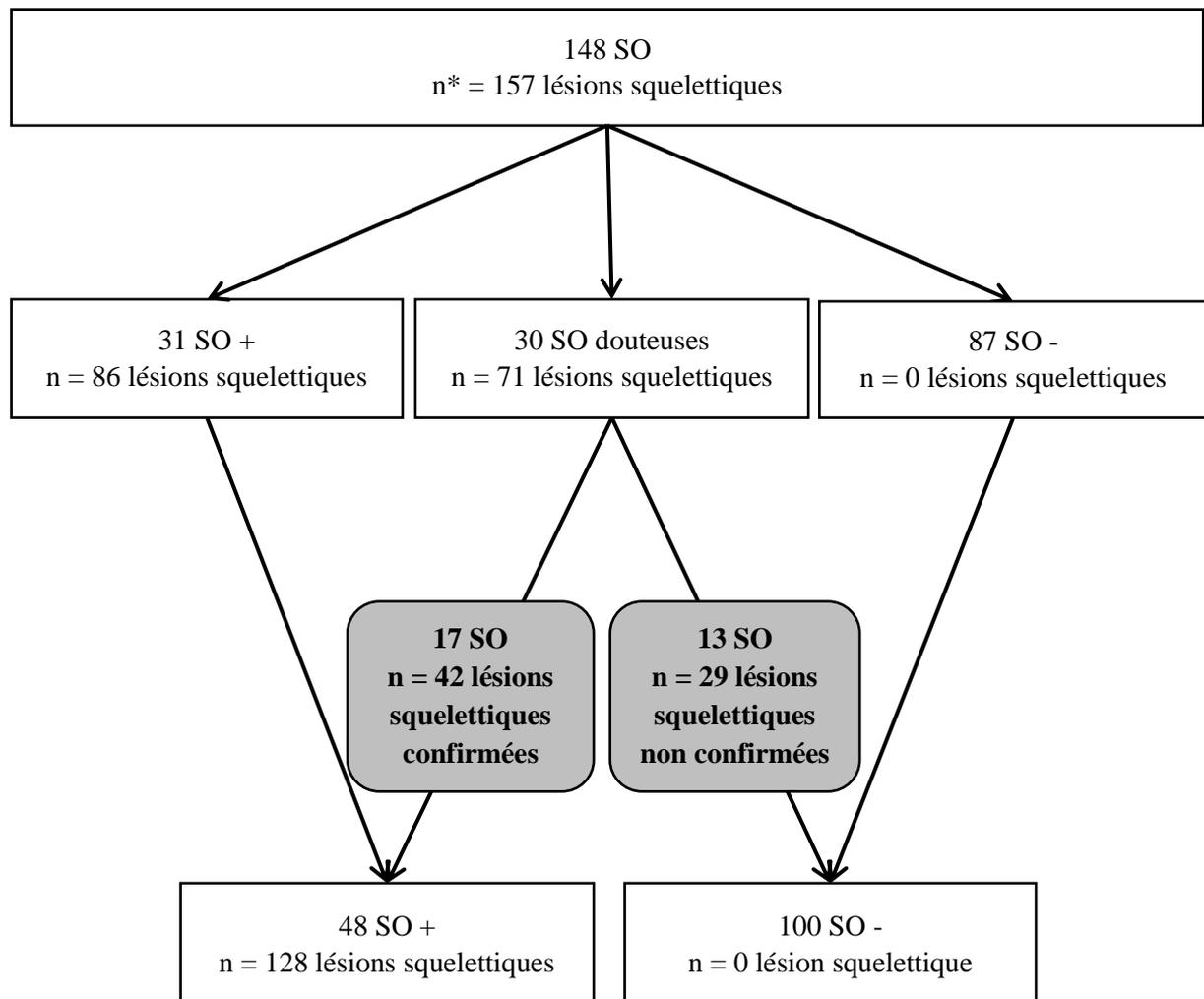
réparties chez 37 patients (25.3% des patients ayant fait l'objet de RSC et d'une SO). Une lésion squelettique supplémentaire a donc été détectée par la SO, tous les 4 patients (148/45). Un tableau clinique pluri-fracturaires (≥ 2 fractures) a été retrouvé chez 19 enfants lorsque l'on considère uniquement les résultats des RSC et chez 30 enfants lorsque l'on considère les résultats de la SO.

Tableau 6 : Répartition des fractures supplémentaires détectées par les RSC et par la SO, selon leurs localisations squelettiques (ne prenant pas en compte les fractures inaugurales).

Localisations squelettiques	Nombre de lésions squelettiques*	
	RSC (n=83)	SO (n=128)
Crâne	14 (16,9)	16 (12,5)
Clavicules	2 (2,4)	0
Humérus	2 (2,4)	4 (3,1)
Radius	3 (3,6)	10 (7,8)
Ulna	2 (2,4)	8 (6,3)
Mains	0 (0)	1 (0,8)
Omoplates	0 (0)	1 (0,8)
Grill costal	33 (39,8)	25 (19,5)
Rachis	0 (0)	10 (7,8)
Bassin	0 (0)	4 (3,1)
Fémurs	9 (10,8)	11 (8,6)
Tibia	13 (15,7)	23 (18)
Fibula	5 (6)	7 (5,5)
Pieds	0 (0)	8 (6,3)

* Les données sont des effectifs en valeur absolue, avec pourcentages n (%).

Les différents résultats de la SO en termes de lésions squelettiques, vérifiés par d'éventuelles radiographies de contrôle, sont colligés dans la figure 5.



SO : Scintigraphie Osseuse

* Les données sont des effectifs en valeur absolue, dont l'unité est la lésion squelettique

† Les données correspondent aux effectifs en valeur absolue, de patients avec radiographies de contrôle confirmant ou non les lésions squelettiques.

Figure 5 : Flow-chart représentant les stratégies et résultats des examens complémentaires, avec pour unité la lésion squelettique.

6. Discordances entre RSC et SO

a) « Faux-positifs » de la SO

Les 29 lésions squelettiques non confirmées par les radiographies de contrôle (considérées comme faussement positives) sont décrites dans le tableau 7.

Tableau 7 : Répartition des lésions squelettiques supplémentaires détectées par la SO, non confirmées par les radiographies de contrôle.

Localisations squelettiques	Nombre de lésions squelettiques* (n = 29)
Crâne	0 (0)
Clavicules	0 (0)
Humérus	6 (20.7)
Radius	4 (13.8)
Ulna	2 (6.9)
Mains	0 (0)
Omoplates	1 (3.5)
Grill costal	3 (10.3)
Rachis	2 (6.9)
Bassin	1 (3.5)
Fémurs	5 (17.2)
Tibia	4 (13.8)
Fibula	0 (0)
Pieds	1 (3.5)

* Les données sont des effectifs en valeur absolue, avec pourcentages n (%).

b) « Faux-négatifs » de la SO

Pour 9 patients (6% des patients inclus), la SO n'a pas détecté au moins une ou l'ensemble des lésions squelettiques détectées sur les RSC :

- Les SO de 4 patients étaient négatives, alors que les RSC étaient positives : 1 fracture du crâne x 2 patients, 1 fracture costale douteuse x 1 patient, 1 cal osseux claviculaire x 1 patient.
- Les SO de 5 patients ne confirmaient pas l'ensemble des lésions squelettiques détectées par les RSC : 1 fracture du crâne x 2 patients, 1 cal osseux claviculaire x 1 patient, 10 fractures costales x 1 patient, 1 fracture costale et 1 fracture tibiale x 1 patient.

c) Autres

30 zones d'hyperfixations à la SO n'ont pas été considérées comme des lésions squelettiques par leur caractère aspécifique pour 13 d'entre elles, leur caractère réactionnel pour 4 d'entre elles, leur caractère malformatif pour 3 d'entre elles et parce qu'elles étaient mises en lien avec une asymétrie positionnelle pour 8 d'entre elles et un problème technique (site d'injection, stase du marqueur) pour 2 d'entre elles.

Discussion

1. Principaux résultats de l'étude

Nous montrons ici que la réalisation d'une SO systématique en cas de RSC négative permettrait de diagnostiquer davantage de fractures occultes, chez les jeunes enfants suspects de maltraitance physique. Ainsi, dans une population de 148 enfants chez qui des RSC et une SO avaient été réalisées, nous avons observé que le taux de détection des fractures supplémentaires par les RSC seules et la SO en add-on des RSC, étaient respectivement de 22.3% et 35.1% ; ce qui correspond à **un gain absolu du taux de détection des fractures supplémentaires par la SO en add-on des RSC de 12.8% points. Il faudrait ainsi réaliser 6 SO pour reclasser un enfant supplémentaire comme présentant au moins une lésion squelettique**, ce qui nous apparait ici comme un nombre acceptable compte tenu de la morbi-mortalité se rapportant au diagnostic de maltraitance physique. Enfin, la SO réalisée systématiquement chez ces enfants (même en cas de RSC positive), a permis de détecter 45 lésions squelettiques supplémentaires ; ce qui constitue une information utile à la prise en charge thérapeutique des enfants par les équipes soignantes (gestion de la douleur, pronostic fonctionnel), et à la conduite de l'enquête judiciaire (levée du doute diagnostique).

2. Forces et Limites de l'étude

Notre étude a plusieurs forces. C'est une **étude française réalisée sur des données récentes**, traitant de l'intérêt de la SO en complément des RSC dans le diagnostic des fractures non accidentelles du jeune enfant, alors que les études rapportées dans la littérature sont des études observationnelles non françaises, dont les publications s'étalent sur 39 ans (21,22,24,25,31,34,35,37) (cf. Annexe 1).

Nous avons utilisé comme **unité statistique, l'enfant**, afin de calculer le gain absolu du taux de détection des lésions squelettiques, par les SO en add-on de RSC négatives ; ce qui avait déjà été effectué par les études précédentes dans la littérature (21,22,24,25,31,37). Ce choix d'unité s'explique par l'enjeu majeur en pratique clinique, qui est **de poser le diagnostic de maltraitance physique et permettre la mise en place de soins et de mesures de protection pour l'enfant** (1,3). Le diagnostic de maltraitance physique par une équipe pluridisciplinaire spécialisée dans la protection de l'enfance, repose sur une combinaison de critères cliniques et paracliniques. **Ainsi, la détection de lésions squelettiques supplémentaires a un intérêt diagnostique majeur**, y compris lorsque les RSC et la SO sont réalisées dans le cadre du bilan d'extension de lésions traumatiques hautement suspectes de maltraitance physique (cutanéomuqueuses, viscérales, intracrâniennes et ophtalmologiques). La détection de lésions squelettiques occultes est essentielle pour permettre d'étayer le diagnostic et d'ajuster les soins : l'association de plusieurs lésions traumatiques concomitantes, suspectes de traumatismes non accidentels, est un élément diagnostique de la maltraitance physique et concourt à la solidité de ce diagnostic. C'est la première étude ayant **évalué le nombre et la localisation des lésions squelettiques supplémentaires** détectées par la SO. Ces nouvelles informations, sont intéressantes sur les plans clinique et médico-légal. La SO a pu mettre en évidence davantage de fractures spécifiques de maltraitance physique : de membres tous confondus (n=29), des extrémités (n=9), axiales (rachis, bassin) (n=14) ; ayant contribué à poser le diagnostic de maltraitance physique, en cas de doute aux RSC. Outre la confirmation diagnostique, connaître précisément le nombre et la localisation des lésions squelettiques occultes présente **un intérêt thérapeutique et pronostic** certain, optimisant la prise en charge de la douleur, généralement sous-estimée chez les enfants victimes de maltraitance physique (38) ; et contribuant à une meilleure prise en charge orthopédique des fractures, un meilleur suivi et donc un meilleur pronostic fonctionnel. Enfin, la découverte de lésions squelettiques supplémentaires par la SO a **un intérêt médico-légal**, puisqu'en cas de suspicion de maltraitance physique, toute lésion squelettique traumatique est suspecte d'être infligée

(7,9,14). Ces informations permettent donc au clinicien, sur réquisition des services enquêteurs, de fournir des informations médicales exhaustives, justifiant la suspicion de maltraitance physique.

Notre étude reste une étude **observationnelle rétrospective, avec un effectif cependant important par rapport aux travaux déjà publiés** (cf. Annexe 3). Si les RSC et la SO n'ont été réalisées que pour 55% (148/268) des enfants suspects de maltraitance physique, on observe que l'adjonction d'une SO a été réservée plutôt aux cas de forte suspicion de maltraitance physique, en l'absence de recommandation clairement établie (cf. Annexe 1). Chez les patients ayant fait l'objet de RSC seules, des plus faibles fréquences de lésions squelettiques (22.5% versus 31%) et de lésions intracrâniennes (10.8% versus 25%) confirment un tableau clinique traumatique moins grave, pouvant expliquer au regard des inconvénients de la SO (perfusion, irradiation, coût), sa non-réalisation.

Il nous a été compliqué de **définir précisément le caractère positif ou non des tests (RSC et SO)**. De manière pragmatique, nous avons conclu à la positivité des examens, lorsqu'ils mettaient en évidence des fractures occultes, c'est-à-dire supplémentaires aux fractures inaugurales faisant initialement suspecter la maltraitance physique (36,39–42). Ainsi, les RSC et/ou SO étaient considérées comme négatives, lorsqu'elles ne détectaient que les fractures inaugurales. **L'interprétation des résultats des examens et notamment de la SO** a également pu constituer une limite de l'étude. Le caractère positif de la SO était défini par une hyperfixation significative d'un segment squelettique, au temps osseux ; différente d'une hyperfixation aspécifique, positionnelle, d'origine malformative ou liée à un problème technique. Le caractère fracturaire d'une hyperfixation osseuse scintigraphique restait principalement à l'appréciation du clinicien et à confronter au contexte clinique. C'est pourquoi 46% (71/155) des lésions squelettiques détectées à la SO ont été considérées par le clinicien comme douteuses et ont fait l'objet de radiographies de contrôle. En effet, seules 63% (45/71) des lésions squelettiques douteuses ont été confirmées. En l'absence des radiographies de contrôle réalisées ici, les performances de la SO auraient donc été surestimées. A l'inverse, pour 9 patients, la SO n'a pas confirmé au moins une des lésions squelettiques détectée aux RSC. Ces résultats soulèvent, comme dans la littérature, les limites de la SO pour la détection de lésions squelettiques anciennes (cals osseux) et/ou situées dans certaines localisations (crâne, métaphyses).

3. Analyse de la Littérature

Dans notre étude, la prévalence des **lésions squelettiques chez les patients suspects de maltraitance physique (avec RSC seules ou RSC et SO)** était de 28%, globalement plus faible que celles retrouvées dans la littérature, ce qui souligne une grande hétérogénéité entre les travaux rapportés. La prévalence des lésions squelettiques est ainsi parfois estimée à 75% (21), 90% (31) ou 40% (37) (cf. Annexe 3). Cette variabilité peut s'expliquer par une définition imprécise de la suspicion de maltraitance physique dans la littérature, les cas de maltraitance physique les plus évidents pouvant donc implicitement être sélectionnés (43). D'autre part, cela peut s'expliquer par la prise en compte ou non des fractures inaugurales dans le calcul de la prévalence des lésions squelettiques et évoque possiblement un biais de sélection important dans certaines études. Alors que nous avons observé un **gain absolu du taux de détection des lésions squelettiques par la SO en add-on des RSC, de 12.8% points** ; dans la littérature, ce gain absolu varie de 19% (21) à 4% (22), soulignant systématiquement l'intérêt de la réalisation d'une SO après des RSC négatives (cf. Annexe 3). Les travaux retrouvés dans la littérature sont également hétérogènes en termes de méthodologie (effectif, âge d'inclusion, technique d'imagerie), ce qui peut possiblement induire des biais de sélection et d'évaluation. Il ne nous est donc pas possible de généraliser les résultats rapportés dans ces études et de conclure à la valeur ajoutée de la SO en complément des RSC. Enfin, **une revue systématique de la littérature** publiée par Kemp et al. en 2006 a conclu à la complémentarité des RSC et de la SO, sans pour autant se positionner quantitativement ni qualitativement sur l'intérêt de la SO en pratique clinique (25). **Aucune méta-analyse n'a été publiée à ce jour.**

Conclusion

Il semble donc nécessaire de clarifier les recommandations actuelles, concernant l'utilisation de la SO dans le diagnostic des lésions squelettiques traumatiques non accidentelles. La seule recommandation actuelle est de **ne pas préconiser la SO en remplacement des RSC**, celle-ci étant pourvoyeuse d'inacceptables faux-négatifs. Cette recommandation est justifiée dans notre étude et par 4 précédentes études qui ont également mis en évidence l'existence de faux négatifs à la SO (21,22,31,33). Puisque dans notre étude, 19 SO ont mis en évidence des lésions squelettiques, alors que les RSC étaient négatives ; **les RSC ne peuvent donc pas à elles seules, être considérées comme un test diagnostique de référence suffisant** ; ce qui est corroboré par les résultats de la littérature (23–25,44). A l'issue de cette étude, nous ne pouvons que **préconiser l'utilisation systématique de la SO en complément de la RSC, chez les patients de moins de 3 ans suspects de maltraitance physique**. Lorsque les RSC sont négatives, ne pas réaliser de SO constitue un risque très élevé de méconnaître le diagnostic de maltraitance physique. L'absence de soins adaptés et surtout de prise en charge de la douleur peut conduire à des séquelles ; en l'absence de mise en place de mesures de protection pour l'enfant, la récurrence des violences physiques au retour à domicile est estimée à 30-50% des cas dans la littérature (23,24) et peut être responsable d'une forte morbi-mortalité (3,4,8,45). Lorsque les RSC sont positives, l'utilisation de la SO pourrait permettre d'apporter un gain en termes de détection de nouvelles lésions squelettiques (nombre, localisations) et ainsi préciser le diagnostic, guider les soins et les mesures de protection. Le caractère systématique de la SO peut malgré tout se discuter, du fait de son coût et de l'accessibilité variable à un service de médecine nucléaire selon les centres hospitaliers. Le caractère iatrogène de la SO est discutable mais reste faible, approximativement équivalent à une année d'irradiation naturelle (2.3mSv) sans qu'aucun effet secondaire n'ait été démontré à ce jour (46).

Afin d'utiliser ces résultats en pratique clinique, il nous paraît indispensable qu'ils soient **confirmés par des études de plus haut niveau de preuve scientifique**. Il semble donc nécessaire de conduire de nouvelles études prospectives multicentriques, davantage représentatives de la population cible, que sont les enfants de moins de 3 ans suspects de maltraitance physique. Afin de s'affranchir de biais évitables, l'inclusion des patients devra être codifiée et non à l'appréciation du clinicien, la réalisation des examens (clichés codifiés, délai court entre RSC et SO) ainsi que leur interprétation (insu, formation théorique) devront

également être codifiées et suivre les recommandations internationales en vigueur. Une étude semblant correspondre à ces critères est actuellement en cours (52).

Il se pose également la question d'employer de nouvelles techniques d'imagerie, moins irradiantes, capables de compléter les RSC dans le diagnostic des fractures non accidentelles du jeune enfant. L'Imagerie par Résonance Magnétique corps-entier (IRM) (47) et la Tomographie par Emission de Positons (TEP-Scan) (48,49) sont deux options en cours d'évaluation, dont la sensibilité pour les lésions fracturaires métaphysaires reste faible et dont le rapport coût/efficacité et l'accessibilité restent à évaluer. Leur valeur ajoutée en complément des RSC nécessite donc d'être estimée et comparée à la SO.

Références Bibliographiques

1. Les chiffres clés en protection de l'enfance | Observatoire National de la Protection de l'Enfance | ONPE [Internet]. [cité 29 mai 2019]. Disponible sur: <https://www.onpe.gouv.fr/chiffres-cles-en-protection-lenfance#Estimation>
2. Consultation on Child Abuse Prevention (1999: Geneva, Switzerland), World Health Organization. Violence and Injury Prevention Team & Global Forum for Health Research. (1999). Report of the Consultation on Child Abuse Prevention, 29-31 March 1999, WHO, Geneva. World Health Organization. <http://www.who.int/iris/handle/10665/65900>.
3. Norman RE, Byambaa M, De R, Butchart A, Scott J, Vos T. The long-term health consequences of child physical abuse, emotional abuse, and neglect: a systematic review and meta-analysis. *PLoS Med.* 2012 Nov 27;9(11):e1001349.
4. Berkowitz CD. Physical Abuse of Children. *N Engl J Med.* 2017 April 27;376(17):1659-1666. 27 avr 2017;
5. Loder RT, Bookout C. Fracture patterns in battered children. *J Orthop Trauma.* 1991;5(4):428-33.
6. Loder RT, Feinberg JR. Orthopaedic injuries in children with nonaccidental trauma: demographics and incidence from the 2000 kids' inpatient database. *J Pediatr Orthop.* 1 juin 2007;27(4):421-6.
7. Kellogg ND, American Academy of Pediatrics Committee on Child Abuse and Neglect. Evaluation of suspected child physical abuse. *Pediatrics.* 1 juin 2007;119:1232-41.
8. Krug EG, Mercy JA, Dahlberg LL, Zwi AB. The world report on violence and health. *Lancet.* 5 oct 2002;360(9339):1083-8.
9. Flaherty EG, Perez-Rossello JM, Levine MA, Hennrikus WL, American Academy of Pediatrics Committee on Child Abuse and Neglect. Evaluating children with fractures for child physical abuse. *Pediatrics.* 2014 Feb;133(2):e477-89.
10. Leventhal JM, Thomas SA, Rosenfield NS, Markowitz RI. Fractures in young children. Distinguishing child abuse from unintentional injuries. *Am J Dis Child.* 1 janv 1993;147(1):87-92.
11. Cadzow SP, Armstrong KL. Rib fractures in infants: Red alert! The clinical features, investigations and child protection outcomes. *J Paediatr Child Health.* août 2000;36(4):322-6.
12. Kemp AM, Dunstan F, Harrison S, Morris S, Mann M, Rolfe K, et al. Patterns of skeletal fractures in child abuse: systematic review. *BMJ.* 2 oct 2008;337:a1518.
13. Nimkin K, Spevak MR, Kleinman PK. Fractures of the hands and feet in child abuse: imaging and pathologic features. *Radiology.* avr 1997;203(1):233-6.

14. Section on Radiology; American Academy of Pediatrics. Diagnostic imaging of child abuse. *Pediatrics*. 2009 May;123(5):1430-5.
15. Wootton-Gorges SL, Soares BP, Alazraki AL, Anupindi SA, Blount JP, Booth TN, et al. ACR Appropriateness Criteria® Suspected Physical Abuse—Child. *J Am Coll Radiol*. 1 mai 2017;14(5, Supplement):S338-49.
16. Swinson S, Tapp M, Brindley R, Chapman S, Offiah A, Johnson K. An audit of skeletal surveys for suspected non-accidental injury following publication of the British Society of Paediatric Radiology guidelines. *Clin Radiol*. 1 juin 2008;63(6):651-6.
17. Évaluation et recommandations Haute autorité de santé (HAS). Validation juill. 2017 : https://www.has-sante.fr/portail/jcms/c_2794425/fr/syndrome-du-bebe-secoue-ou-traumatisme-cranien-nonaccidentel-par-secouement. 2017;338.
18. Wood JN, Fakeye O, Feudtner C, Mondestin V, Localio R, Rubin DM. Development of guidelines for skeletal survey in young children with fractures. *Pediatrics*. juill 2014;134(1):45-53.
19. Paine CW, Wood JN. Skeletal Surveys in Young, Injured Children: A Systematic Review. *Child Abuse Negl*. 1 févr 2018;76:237-49.
20. Rao R, Browne D, Lunt B, Perry D, Reed P, Kelly P. Radiation doses in diagnostic imaging for suspected physical abuse. *Arch Dis Child*. 17 avr 2019;
21. Mandelstam SA. Complementary use of radiological skeletal survey and bone scintigraphy in detection of bony injuries in suspected child abuse. *Arch Dis Child*. 1 mai 2003;88(5):387-90.
22. Bainbridge JK, Huey BM, Harrison SK. Should bone scintigraphy be used as a routine adjunct to skeletal survey in the imaging of non-accidental injury? A 10 year review of reports in a single centre. *Clin Radiol*. 1 août 2015;70(8):e83-9.
23. Kleinman PK, Nimkin K, Spevak MR, Rayder SM, Madansky DL, Shelton YA, et al. Follow-up skeletal surveys in suspected child abuse. *AJR Am J Roentgenol*. oct 1996;167(4):893-6.
24. Zimmerman S, Makoroff K, Care M, Thomas A, Shapiro R. Utility of follow-up skeletal surveys in suspected child physical abuse evaluations. *Child Abuse Negl*. janv 2005;29(10):1075-83.
25. Kemp AM, Butler A, Morris S, Mann M, Kemp KW, Rolfe K, et al. Which radiological investigations should be performed to identify fractures in suspected child abuse? *Clin Radiol*. 1 sept 2006;61(9):723-36.
26. Wong KK, Piert M. Dynamic bone imaging with 99mTc-labeled diphosphonates and 18F-NaF: mechanisms and applications. *J Nucl Med*. 1 avr 2013;54(4):590-9.
27. Van den Wyngaert T, Strobel K, Kampen WU, Kuwert T, van der Bruggen W, Mohan HK, et al. The EANM practice guidelines for bone scintigraphy. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 1 août 2016;43(9):1723-38.

28. Love C, Din AS, Tomas MB, Kalapparambath TP, Palestro CJ. Radionuclide bone imaging: an illustrative review. *Radiographics*. mars 2003;23(2):341-58.
29. Buckley O, O'Keefe S, Geoghegan T, Lyburn ID, Munk PL, Worsley D, et al. 99mTc bone scintigraphy superscans: a review. *Nucl Med Commun*. 1 juill 2007;28(7):521-7.
30. Porta M, Last JM. ALARA. In: *A Dictionary of Public Health* [Internet]. Oxford University Press; 2018 [cité 11 mai 2019]. Disponible sur: <https://www.oxfordreference.com/abstract/10.1093/acref/9780191844386.001.0001/acref-9780191844386-e-123>
31. Guevara EC. Comparison of radiography and radionuclide bone scanning in the detection of child abuse. *Annals of Emergency Medicine*. sept 1984;13(9):744.
32. Sty JR, Starshak RJ, Hubbard AM. Radionuclide evaluation in childhood injuries. *Seminars in Nuclear Medicine*. 1 juill 1983;13(3):258-81.
33. Haase GM, Ortiz VN, Sfakianakis GN, Morse TS. The value of radionuclide bone scanning in the early recognition of deliberate child abuse. *J Trauma*. 1 oct 1980;20(10):873-5.
34. Conway JJ, Collins M, Tanz RR, Radkowski MA, Anandappa E, Hernandez R, et al. The role of bone scintigraphy in detecting child abuse. *Semin Nucl Med*. 1 oct 1993;23(4):321-33.
35. Olesen T, Egeblad M, Dige-Petersen H, Ahlgren P, Nielsen AM, Vesterdal J. Somatic manifestations in children suspected of having been maltreated. *Acta Paediatr Scand*. janv 1988;77(1):154-60.
36. Wood JN, Henry MK, Berger RP, Lindberg DM, Anderst JD, Song L, et al. Use and Utility of Skeletal Surveys to Evaluate for Occult Fractures in Young Injured Children. *Acad Pediatr*. juin 2019;19(4):428-37.
37. Sty JR, Starshak RJ. The role of bone scintigraphy in the evaluation of the suspected abused child. *Radiology*. févr 1983;146(2):369-75.
38. Drouineau M-H, Guenego E, Sebille-Rivain V, Vrignaud B, Balençon M, Blanchais T, et al. Do abused young children feel less pain? *Child Abuse Negl*. mars 2017;65:248-54.
39. Rangel EL, Cook BS, Bennett BL, Shebesta K, Ying J, Falcone RA. Eliminating disparity in evaluation for abuse in infants with head injury: use of a screening guideline. *J Pediatr Surg*. juin 2009;44(6):1229-34; discussion 1234-1235.
40. Hansen KK, Campbell KA. How useful are skeletal surveys in the second year of life? *Child Abuse Negl*. mai 2009;33(5):278-81.
41. Laskey AL, Stump TE, Hicks RA, Smith JL. Yield of skeletal surveys in children \leq 18 months of age presenting with isolated skull fractures. *J Pediatr*. janv 2013;162(1):86-9.

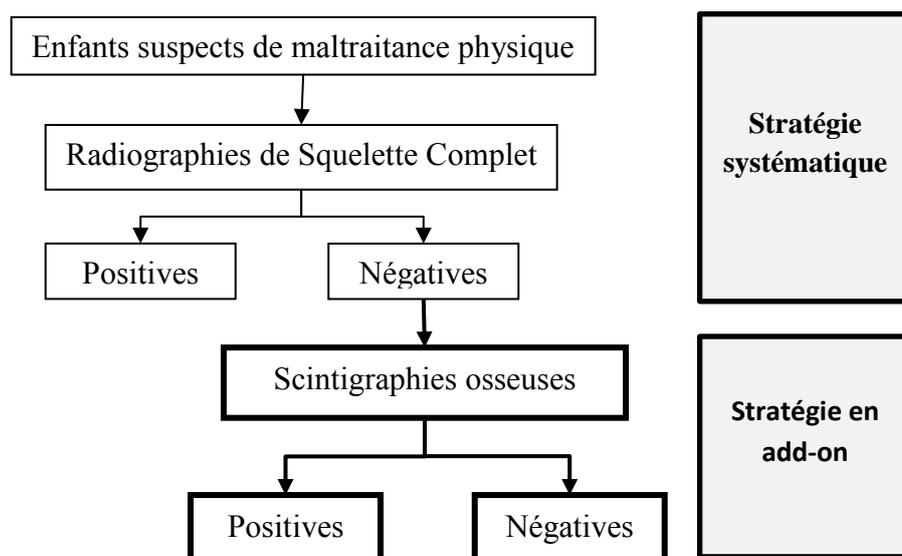
42. Lindberg DM, Berger RP, Reynolds MS, Alwan RM, Harper NS, Examining Siblings To Recognize Abuse Investigators. Yield of skeletal survey by age in children referred to abuse specialists. *J Pediatr.* juin 2014;164(6):1268-1273.e1.
43. Berger RP, Lindberg DM. Early Recognition of Physical Abuse: Bridging the Gap between Knowledge and Practice. *J Pediatr.* 1 janv 2019;204:16-23.
44. Kleinman PK, Marks SC, Adams VI, Blackbourne BD. Factors affecting visualization of posterior rib fractures in abused infants. *AJR Am J Roentgenol.* 1 mars 1988;150(3):635-8.
45. Afifi TO, Mather A, Boman J, Fleisher W, Enns MW, Macmillan H et al. Childhood adversity and personality disorders: results from a nationally representative population-based study. *J Psychiatr Res.* 2011 Jun 1;45(6):814-22.
46. Treves ST, Falone AE, Fahey FH. Pediatric Nuclear Medicine and Radiation Dose. *Seminars in Nuclear Medicine.* 1 mai 2014;44(3):202-9.
47. Perez-Rossello JM, Connolly SA, Newton AW, Zou KH, Kleinman PK. Whole-body MRI in suspected infant abuse. *AJR Am J Roentgenol.* sept 2010;195(3):744-50.
48. Drubach LA, Johnston PR, Newton AW, Perez-Rossello JM, Grant FD, Kleinman PK. Skeletal Trauma in Child Abuse: Detection with 18F-NaF PET. *Radiology.* 10 mars 2010;255(1):173-81.
49. Stauss J, Hahn K, Mann M, De Palma D. Guidelines for paediatric bone scanning with 99mTc-labelled radiopharmaceuticals and 18F-fluoride. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging.* août 2010;37(8):1621-8.
50. Practice Parameters and Technical Standards | American College of Radiology [Internet]. [cité 9 mai 2019]. Disponible sur: <https://www.acr.org/Clinical-Resources/Practice-Parameters-and-Technical-Standards>
51. Halstead S, Scott G, Thust S, Hann G. Review of the new RCR guidelines (2017): The radiological investigation of suspected physical abuse in children. *Arch Dis Child Educ Pract Ed.* 3 sept 2018;edpract-2017.
52. Bossuyt PM, Irwig L, Craig J, Glasziou P. Comparative accuracy: assessing new tests against existing diagnostic pathways. *BMJ.* 6 mai 2006;332(7549):1089-92.
53. Blangis F, Cohen J, Launay E, Garroui L, Vabres N, Lefrancois T, et al. Add-on bone scintigraphy versus radiological skeletal survey alone for the diagnosis of skeletal injury in children suspected of physical abuse. Second national congress of French Society of Pediatrics Forensic Pathology; 2019 juin 18; Nantes.
54. Utility of whole-body MRI in the detection of traumatic injuries of undetermined origin in children - ClinicalTrials.gov [Internet]. [cited 2019 Jun 3]. Available from: <https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT01743703>

Annexes

Annexe 1 : Recommandations actuelles à propos de l'utilisation de la scintigraphie osseuse dans le diagnostic de maltraitance physique du jeune enfant.

Société Savante (Année)	Citations
American Academy of Pediatrics ⁽¹⁴⁾ (2009)	“Bone scintigraphy <i>may offer an alternative or adjunct to the skeletal survey in selected cases</i> , particularly for children older than 1 year”
American Academy of Pediatrics Committee on Child Abuse and Neglect ⁽⁹⁾ (2014)	“Bone scintigraphy <i>may be used to complement the skeletal survey but should not be the sole method of identifying fractures</i> ”
American College of Radiology ⁽⁵⁰⁾ (2017)	“Bone scintigraphy is a complementary or adjunctive examination for detecting bone injuries but is usually not considered an alternative to skeletal survey. It should be used when the radiographic skeletal survey is negative but clinical suspicion remains high and a search for further evidence of skeletal trauma is warranted”
Sofmer-HAS ⁽¹⁷⁾ (2017)	“Une scintigraphie osseuse peut objectiver des lésions squelettiques invisibles aux radiographies du squelette”
Royal College of Radiologists and Royal college of Paediatrics and Child Health ⁽⁵¹⁾ (2018)	“There is currently insufficient evidence that performing an initial bone scan and skeletal survey will obviate the need for further imaging [...] bone imaging is therefore not usually indicated”

Annexe 2 : Stratégie actuelle d'évaluation en add-on, adaptée de Bossuyt et al. 2006⁽⁵²⁾.



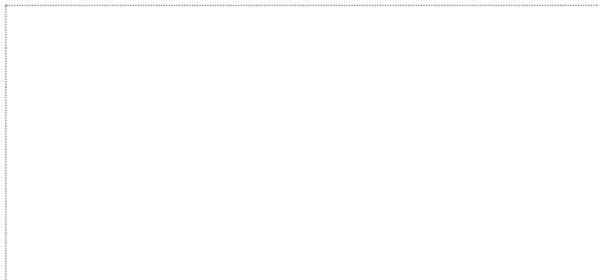
Annexe 3 : Tableau descriptif par années de publication, des différentes études ayant évalué l'apport de la SO en add-on des RSC, dans le diagnostic de lésions squelettiques traumatiques non accidentelles, chez le jeune enfant.

Auteurs (Année) Pays	Type d'étude	n*	Age	Suivi des recommandations d'imagerie	Taux de détection des fractures aux RSC†	Gain absolu du taux de détection des fractures par la SO en add-on des RSC†
Haase et al. ⁽³³⁾ (1980) Etats-Unis	Prospective	44	Inconnu	Inconnu	30% [17 ; 44]	16% [6 ; 28]
Sty et al. ⁽³⁷⁾ (1983) Etats-Unis	Rétrospective	261	Inconnu	RSC: non SO: oui	40% [34 ; 46]	6% [3 ; 9]
Guevara et al. ⁽³¹⁾ (1984) Etats-Unis	Prospective	50	2-15 ans 72% < 3 ans	Inconnu	90% [80;97]	10% [3 ; 20]
Mandelstam et al. ⁽²¹⁾ (2003) Australie	Rétrospective	32	94% < 3 ans	Oui	75% [58;89]	19% [7;34].
Bainbridge et al. ⁽²²⁾ (2015) Pays de Galles	Rétrospective	166	< 2 ans	Oui	25% [22;36]	4% [2;8].
Blangis et al. ⁽⁵³⁾ (2019) France	Rétrospective	75	< 3 ans	Oui	16% [8;25]	5% [1;12]

* Les données sont des effectifs $n = x$

† Les données correspondent à des pourcentages associés à leur écart intervalle de confiance à 95%.

Vu, le Président du Jury,



Madame la Professeure Christèle GRAS LEGUEN

Vu, le Directeur de Thèse,



Madame la Professeure Christèle GRAS LEGUEN

Vu, le Doyen de la Faculté,



Professeur Pascale JOLLIET

Titre de Thèse : Valeur ajoutée de la scintigraphie osseuse en complément des radiographies de squelette complet, dans le diagnostic de maltraitance physique du jeune enfant.

RÉSUMÉ

Les fractures sont les 2^{èmes} lésions les plus fréquentes dans les maltraitements physiques. Parce que les radiographies de squelette complet initiales (RSC) peuvent être faussement négatives, la réalisation précoce d'une scintigraphie osseuse (SO) ou de RSC à 15 jours, est préconisée. Notre objectif était d'estimer si la SO, positionnée comme un test complémentaire en add-on, après des RSC négatives ; permettrait d'améliorer le taux de détection des fractures chez les enfants suspects de maltraitance physique. Nous avons réalisé une étude observationnelle descriptive, rétrospective, monocentrique, incluant les patients de moins de 3 ans, avec RSC et SO réalisées pour suspicion de maltraitance physique. Entre janvier 2013 et juillet 2019, au CHU de Nantes, 148 des 268 enfants suspects de maltraitance physique ont eu des RSC et une SO et 31% présentaient des fractures inaugurales suspectes de maltraitance physique. Le gain absolu du taux de détection des fractures par la SO en add-on des RSC était de 12.8%. Il faudrait donc 6 SO pour détecter un enfant supplémentaire, suspect de maltraitance physique, ce qui est acceptable au regard du danger que représente le non-diagnostic de maltraitance physique chez l'enfant.

MOTS-CLÉS

Maltraitance physique – Enfant - Fractures / Lésions squelettiques – traumatismes infligés / non accidentels - Radiographies de squelette complet – Scintigraphie osseuse