



Authentification des pairs dans un réseau ZigBee à l'aide du Deep Learning

Maïr Rondeau, Alexandre Thiroux, Maximilien Vandermeiren

Sommaire

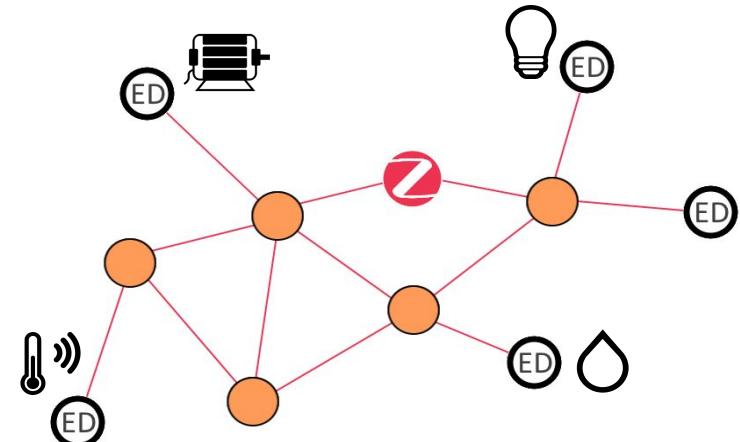
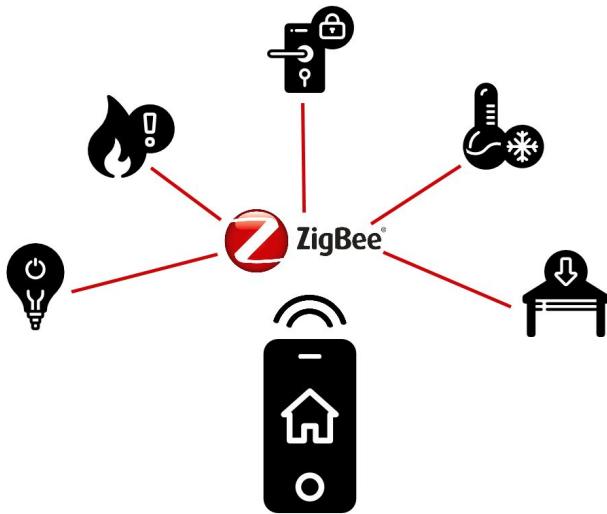
1. Problématique & État de l'art
2. Outils utilisés
3. Outil réalisé
4. Présentation des résultats obtenus
5. Synthèse

Conclusion & Questions

Problématique et état de l'art

Problématique & État de l'art

PRÉSENTATION DU PROTOCOLE ZIGBEE

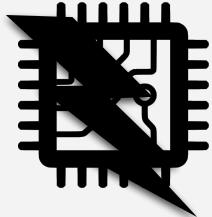


Problématique & État de l'art

LA SÉCURITÉ DU PROTOCOLE ZIGBEE



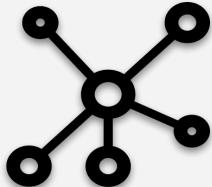
Repose sur la confidentialité des clés



Puces faiblement protégées



Faible puissance de calcul



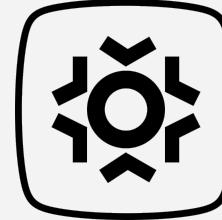
Repose sur un nœud central



DÉFAUTS
ATTaques



Attaque par rejeu



Déni de service



Extraction physique



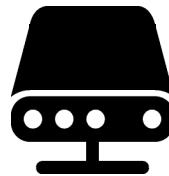
Vol de clé

Problématique & État de l'art

ÉTAT DE L'ART : SOLUTIONS APPORTÉES



Par signature chiffrée



Utilisation d'une passerelle de filtrage



Par reconnaissance de l'empreinte matérielle



Modification des clés par défaut



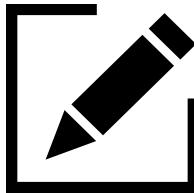
Activation du chiffrement des données

Problématique & État de l'art

ANNONCE DE LA PROBLÉMATIQUE



Comment s'assurer de l'
émetteur d'une trame ?



L'édition du protocole et
son implémentation sont
trop complexes



Est-il possible de sécuriser
un réseau Zigbee à l'aide du
Deep Learning ?



Comment s'assurer de la
conformité des échanges ?

Outils utilisés

Outils utilisés

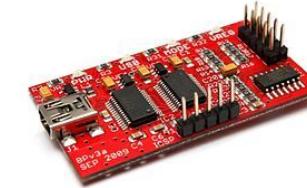
MATÉRIEL PHYSIQUE



Module Xbee



Wireless ZigBee
CC2531 sniffer



Bus pirate



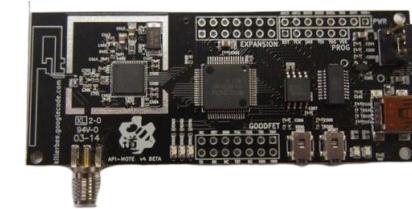
Xbee shield



Arduino Uno



Raspberry pi



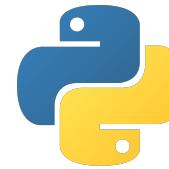
River Loop ApiMote

Outils utilisés

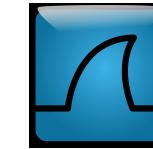
OUTILS NUMÉRIQUES



Keras



Python



Wireshark / Tshark
whsniff



Arduino



MariaDB



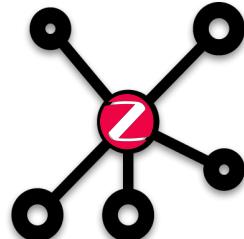
GIT

Outil réalisé

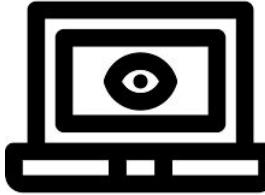
1. Présentation

Outil réalisé

FONCTIONNEMENT GÉNÉRAL



Simulation d'un réseau domotique



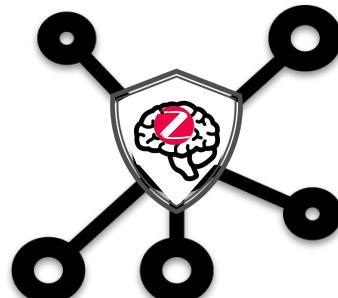
Analyse et génération du trafic

Phase d'agrégation des données



Création d'un jeu de données étiquetées

Phase de fonctionnement



Tests

Phase d'apprentissage

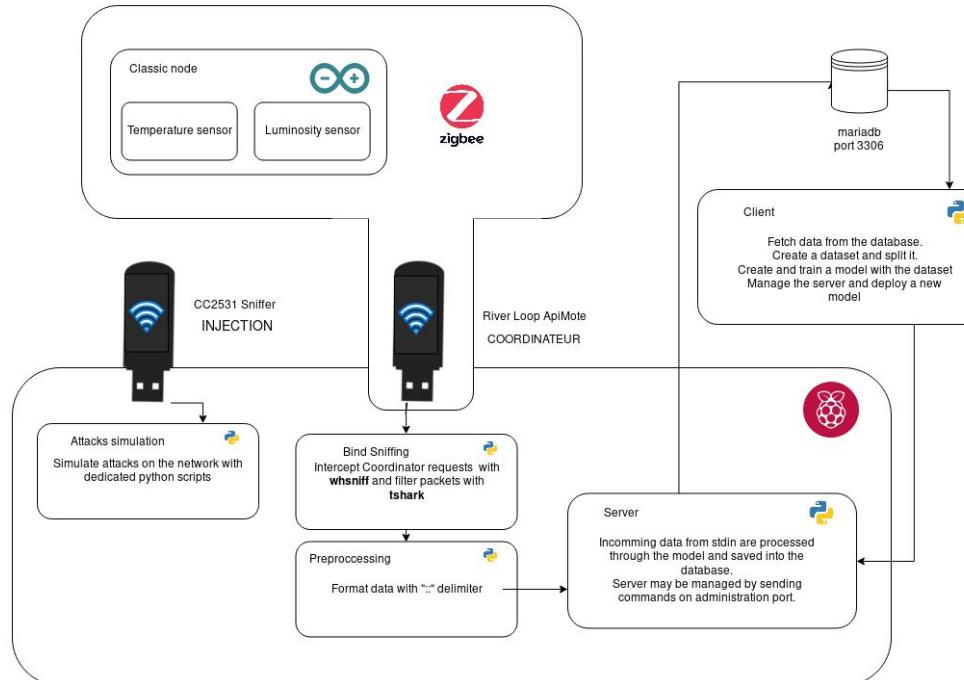


Entraînement du modèle
Catégorisation des données

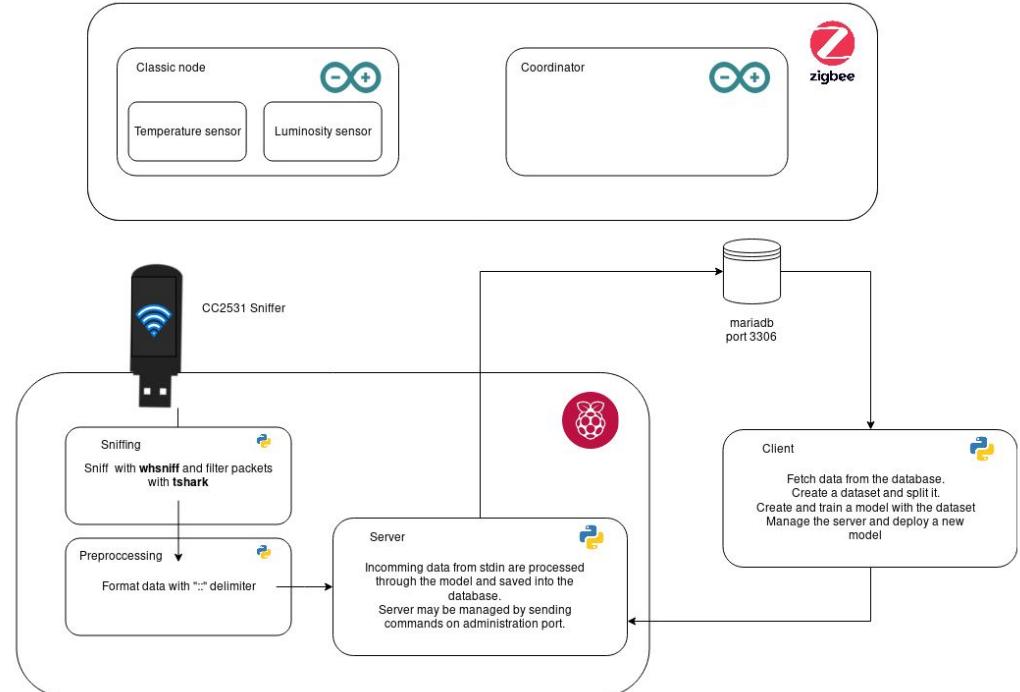


Outil réalisé

MODIFICATIONS APPORTÉES AU PROJET INITIAL



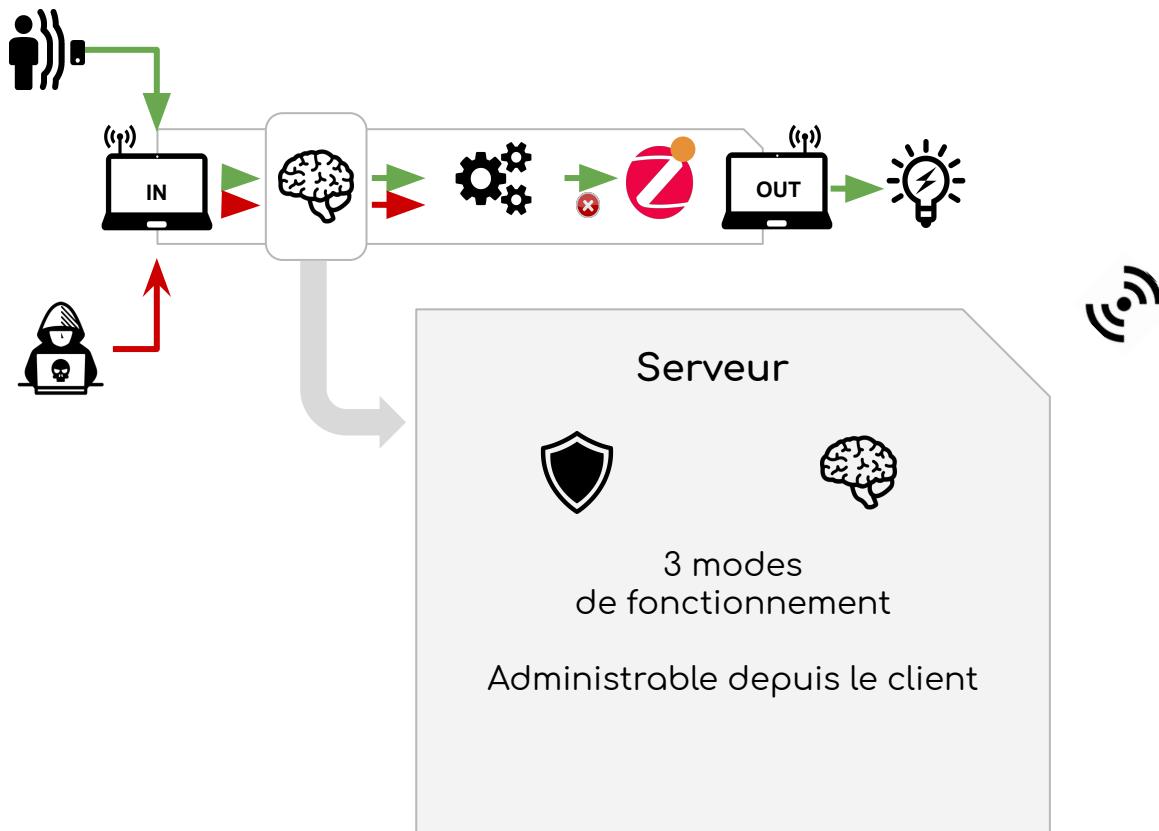
Architecture du projet initial



Architecture du projet actuel

Outil réalisé

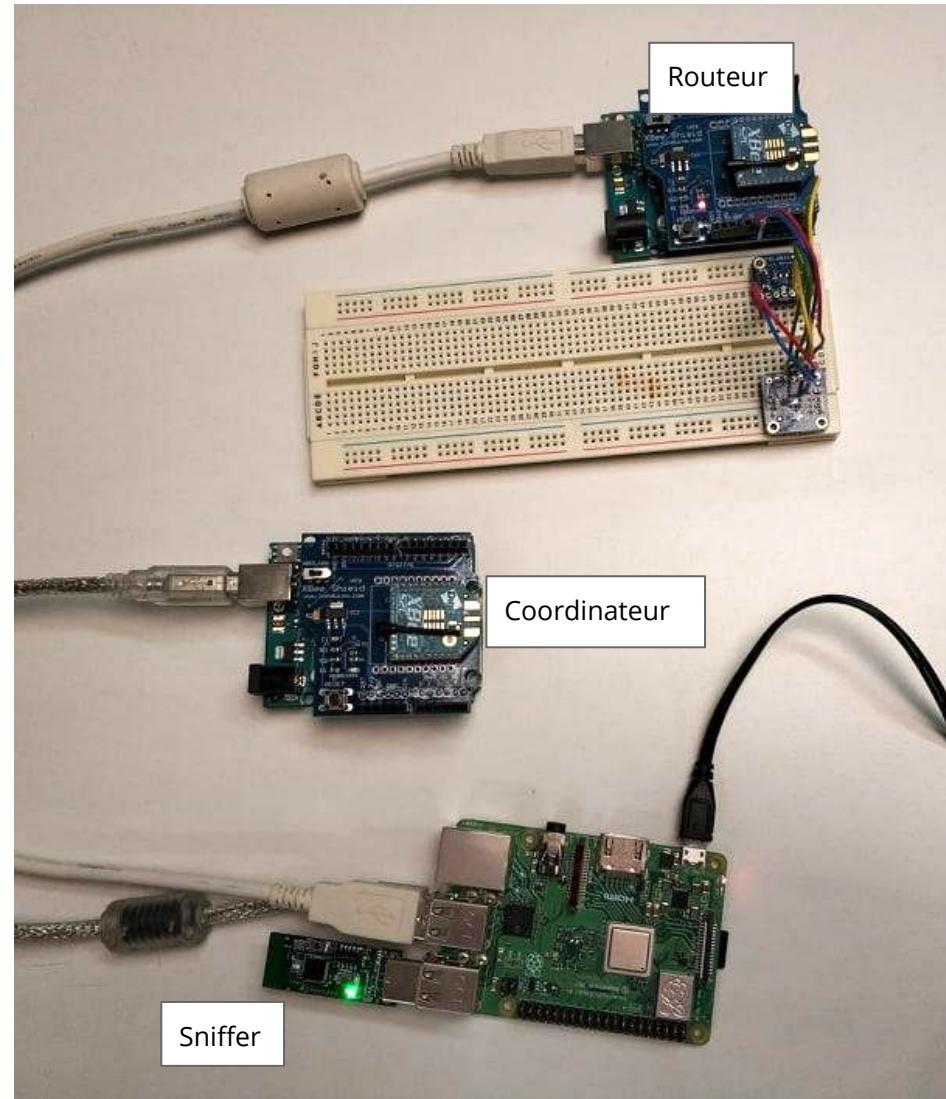
PRÉSENTATION DE L'OUTIL



Outil réalisé

PRÉSENTATION DU RÉSEAU DOMOTIQUE SIMULÉ

La raspberry à l'analyse du réseau



Outil réalisé

2. Le réseau domotique

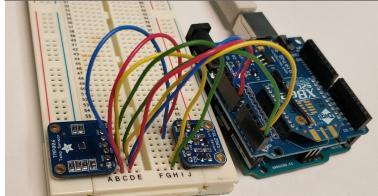
Outil réalisé

ARDUINO : MONTAGE

Coordinateur



Routeur / capteurs



Payload chiffrées
interceptées



Sniffer / Raspberry



Déchiffrement
et traitement



Envoi à la base de
données



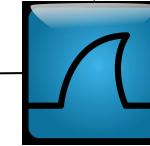
Outil réalisé

RÉSEAU DOMOTIQUE : ANALYSE DES TRAMES

Analyse du réseau

```
pi@raspberrypi:~$ sudo whsniff -c 11 |sudo tshark -l -o zbee_nwk.secllevel:"AES-128 Encryption, Running as user "root" and group "root". This could be dangerous."  
Capturing on 'Standard input'  
 1  0.000000 0xffff8e → 0x0000      ZigBee 55 Route Record, Dst: 0x0000  
 2  0.002143 →                   IEEE 802.15.4 5 Ack  
 3  0.047411 0xffff8e → 0x0000      ZigBee 71 ZCL: Unknown Command, Seq: 0  
 4  0.050066 →                   IEEE 802.15.4 5 Ack  
 5  0.056380 0x0000 → 0xffff8e      ZigBee 61 APS: Ack, Dst Endpt: 232, Src Endpt: 232  
 6  0.058716 →                   IEEE 802.15.4 5 Ack  
 7  2.057182 0xffff8e → 0x0000      ZigBee 55 Route Record, Dst: 0x0000  
 8  2.059325 →                   IEEE 802.15.4 5 Ack  
 9  2.105836 0xffff8e → 0x0000      ZigBee 71 ZCL: Unknown Command, Seq: 0  
10  2.108492 →                   IEEE 802.15.4 5 Ack  
11  2.113168 0x0000 → 0xffff8e      ZigBee 61 APS: Ack, Dst Endpt: 232, Src Endpt: 232  
12  2.115505 →                   IEEE 802.15.4 5 Ack  
13  4.112033 0xffff8e → 0x0000      ZigBee 55 Route Record, Dst: 0x0000  
14  4.114177 →                   IEEE 802.15.4 5 Ack  
15  4.157998 0xffff8e → 0x0000      ZigBee 71 ZCL: Unknown Command, Seq: 0  
16  4.160651 →                   IEEE 802.15.4 5 Ack  
17  4.169570 0x0000 → 0xffff8e      ZigBee 61 APS: Ack, Dst Endpt: 232, Src Endpt: 232  
18  4.171905 →                   IEEE 802.15.4 5 Ack  
19  4.420473 0x0000 → Broadcast   ZigBee 50 Link Status  
20  5.422985 0xffff8e → Broadcast   ZigBee 50 Link Status  
21  6.168522 0xffff8e → 0x0000      ZigBee 55 Route Record, Dst: 0x0000  
22  6.170665 →                   IEEE 802.15.4 5 Ack  
23  6.218899 0xffff8e → 0x0000      ZigBee 71 ZCL: Unknown Command, Seq: 0  
24  6.221555 →                   IEEE 802.15.4 5 Ack  
25  6.226186 0x0000 → 0xffff8e      ZigBee 61 APS: Ack, Dst Endpt: 232, Src Endpt: 232  
26  6.228521 →                   IEEE 802.15.4 5 Ack  
27  8.223173 0xffff8e → 0x0000      ZigBee 55 Route Record, Dst: 0x0000  
28  8.225316 →                   IEEE 802.15.4 5 Ack  
29  8.269774 0xffff8e → 0x0000      ZigBee 71 ZCL: Unknown Command, Seq: 0  
30  8.272430 →                   IEEE 802.15.4 5 Ack  
31  8.279060 0x0000 → 0xffff8e      ZigBee 61 APS: Ack, Dst Endpt: 232, Src Endpt: 232  
32  8.281394 →                   IEEE 802.15.4 5 Ack  
33  10.278352 0xffff8e → 0x0000     ZigBee 55 Route Record, Dst: 0x0000  
34  10.280495 →                   IEEE 802.15.4 5 Ack  
35  10.325514 0xffff8e → 0x0000     ZigBee 71 ZCL: Unknown Command, Seq: 0  
36  10.328170 →                   IEEE 802.15.4 5 Ack  
37  10.332921 0x0000 → 0xffff8e     ZigBee 61 APS: Ack, Dst Endpt: 232, Src Endpt: 232  
38  10.335257 →                   IEEE 802.15.4 5 Ack  
39  12.334197 0xffff8e → 0x0000     ZigBee 55 Route Record, Dst: 0x0000  
40  12.336340 →                   IEEE 802.15.4 5 Ack  
41  12.379465 0xffff8e → 0x0000     ZigBee 71 ZCL: Unknown Command, Seq: 0  
42  12.382120 →                   IEEE 802.15.4 5 Ack  
43  12.387704 0x0000 → 0xffff8e     ZigBee 61 APS: Ack, Dst Endpt: 232, Src Endpt: 232  
44  12.390037 →                   IEEE 802.15.4 5 Ack
```

Whsniff



Wireshark / Tshark

Outil réalisé

3. Le serveur

Outil réalisé

SERVEUR : 3 MODES DE FONCTIONNEMENT



Mode attaque

Les données sont directement transférées en base



Mode défensif

Les données sont analysées, vérifiées et envoyées en base.
Le modèle est en place et intercepte les données.



Mode entraînement

Les données sont analysées, vérifiées et envoyées en base.
Le réseau n'est pas protégé

Outil réalisé

SERVEUR : COLLECTE DES DONNÉES DU RÉSEAU DOMOTIQUE



```
pi@raspberrypi:~/app/scripts $ sudo whsniiff -c 11  
00:00:00:22:A8:0000 00FU70A0("U  
U70A000  
29:04:00:00:77:a00000 00FU70A00060A0(V060A0ZaY0000eGGa0000000U70A0060A0(V060A0@r  
==a0000H060A0U70A0((0  
?0 0'@00 ==a0000H060A0U70A0((00000&fp`N#! %/ 22A0000000 00  
U70A0 0=0;0mg00|00 E0
```



Wireshark / Tshark

3	0.046869	0xffff8e → 0x0000	ZigBee	71	ZCL: Unknown Command	Seq: 0
9	2.166910	0xffff8e → 0x0000	ZigBee	71	ZCL: Unknown Command	Seq: 0
17	4.167506	0xffff8e → 0x0000	ZigBee	71	ZCL: Unknown Command	Seq: 0
23	6.227388	0xffff8e → 0x0000	ZigBee	71	ZCL: Unknown Command	Seq: 0
29	8.286712	0xffff8e → 0x0000	ZigBee	71	ZCL: Unknown Command	Seq: 0
35	10.348871	0xffff8e → 0x0000	ZigBee	71	ZCL: Unknown Command	Seq: 0
41	12.407813	0xffff8e → 0x0000	ZigBee	71	ZCL: Unknown Command	Seq: 0
47	14.467944	0xffff8e → 0x0000	ZigBee	71	ZCL: Unknown Command	Seq: 0



Wireshark / Tshark

1	0.000000	0xffffe → 0x0000	ZigBee 55 Route Record, Dst: 0x0000
2	0.002143	→	IEEE 802.15.4 5 Ack
3	0.047411	0xffffe → 0x0000	ZigBee 71 ZCL: Unknown Command, Seq: 0
4	0.050666	→	IEEE 802.15.4 5 Ack
5	0.056380	0x0000 → 0xffffe	ZigBee 61 APS: Ack, Dst Endpt: 232, Src Endpt: 232
6	0.058716	→	IEEE 802.15.4 5 Ack
7	2.057182	0xffffe → 0x0000	ZigBee 55 Route Record, Dst: 0x0000
8	2.059325	→	IEEE 802.15.4 5 Ack
9	2.105836	0xffffe → 0x0000	ZigBee 71 ZCL: Unknown Command, Seq: 0
10	2.108492	→	IEEE 802.15.4 5 Ack
11	2.113168	0x0000 → 0xffffe	ZigBee 61 APS: Ack, Dst Endpt: 232, Src Endpt: 232
12	2.115505	→	IEEE 802.15.4 5 Ack
13	4.112623	0xffffe → 0x0000	ZigBee 55 Route Record, Dst: 0x0000



Wireshark / Tshark

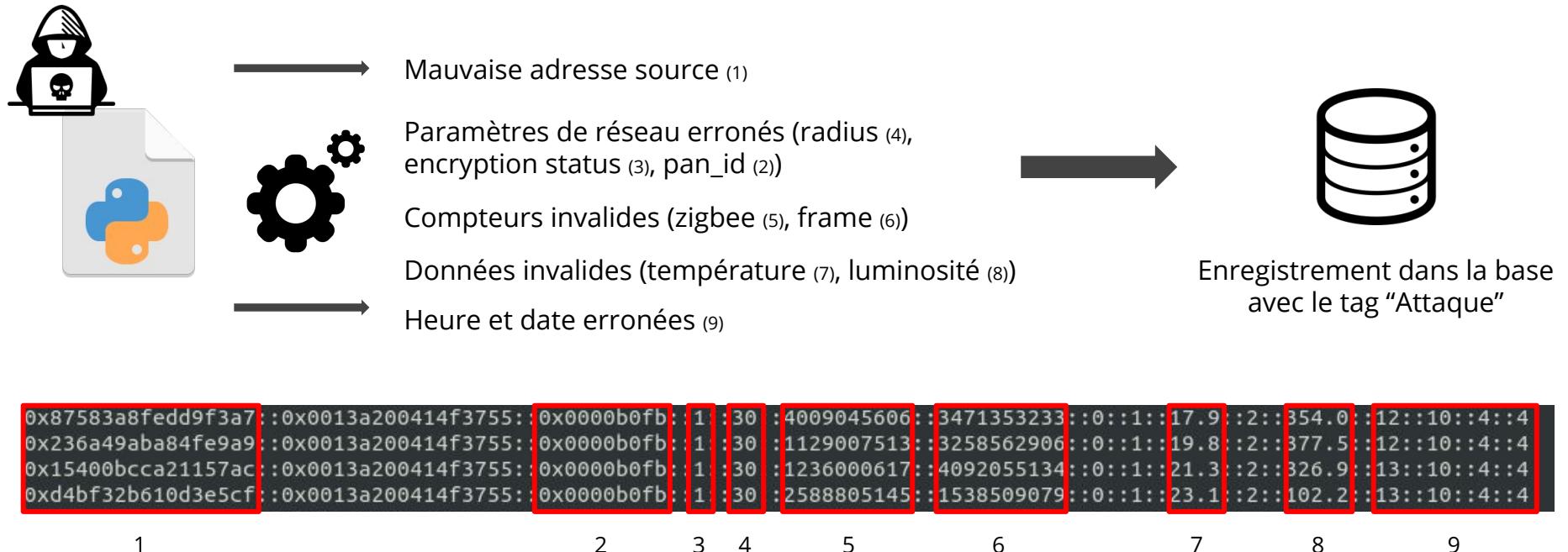
00:13:a2:00:41:4f:36:cd 00:13:a2:00:41:4f:37:55 0x00000b0fb 1 30 203 618756 00004194400000000000
00:13:a2:00:41:4f:36:cd 00:13:a2:00:41:4f:37:55 0x00000b0fb 1 30 204 618759 00004194400000000000

- 14 informations différentes sont collectées :

- source
 - destination
 - pan_id
 - encryption status
 - radius
 - zbee_counter
 - frame_counter
 - device
 - sensor
 - hours
 - minutes
 - day
 - month

Outil réalisé

SERVEUR : COLLECTE DES DONNÉES DE LA SIMULATION D'ATTAQUES



Outil réalisé

SERVEUR : PRÉ-TRAITEMENT DES DONNÉES BRUTES



Un script :

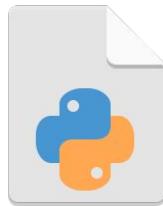
- Convertit les valeurs **hex** en **float**
- Ajoute des **séparateurs de champs**
- Décode le **payload**
- Ajoute d'informations sur les **capteurs**, **l'heure**, et la **date**

* Les champs “temperature”, “luminosity” et “Day.tue” sont des champs d’enumérations. Leurs vraies valeurs sont 1 ou 2 pour les capteurs et entre 1 et 7 pour les jours de la semaine.

Outil réalisé

SERVEUR : ANALYSE DES DONNÉES ET SAUVEGARDE EN BASE

```
5526146536912589.0::5526146536912725.0::45307.0::1::30::91::622351::0:::temperature::18.8125::luminosity::0.0::16::51::Day.tue::05
```



Le serveur :

- Parse l'entrée et récupère chaque champs grâce aux séparateurs
- Vérifie si les données sont conformes sinon remplace par -1
- Insère dans la BDD

```
[ma:✓, co:X, pa:X,en:X, ra:X, ti:X,va:X,da:X,fo:X,se:X,de:X] 5% NORMAL
```

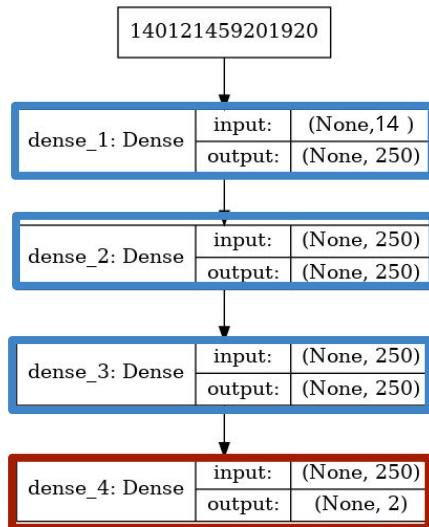
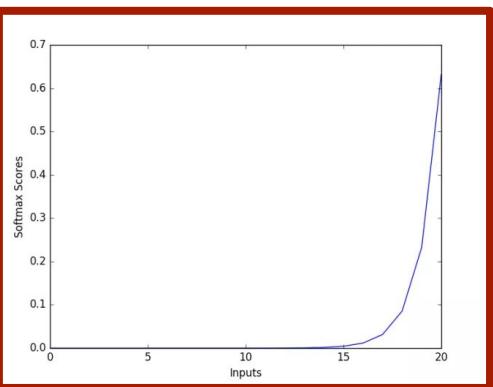
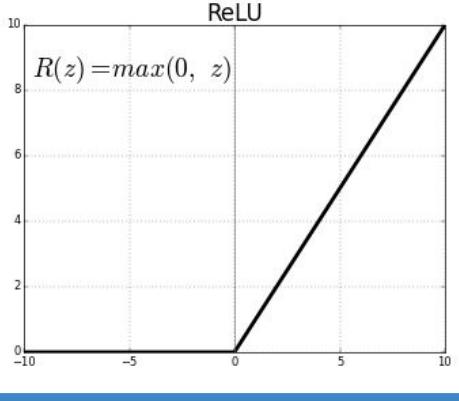


Outil réalisé

4. Le client

Outil réalisé

CLIENT : CONCEPTION DU MODÈLE, L'APPRENTISSAGE



```
[107507 rows x 14 columns]
12
WARNING:tensorflow:From /usr/lib/python3.7/site-packages/tensorflow/python/framework/op_def_library.py:263: colocate_with (from tensorflow.python.framework.op_def_library) is deprecated and will be removed in a future version.
Instructions for updating:
Locations handled automatically by placer.
WARNING:tensorflow:From /usr/lib/python3.7/site-packages/tensorflow/python/ops/math_ops.py:3066: to_int32 (from tensorflow.python.ops.math_ops) is deprecated and will be removed in a future version.
Instructions for updating:
Use tf.cast instead.
Epoch 1/30
2019-05-12 13:30:25.885728: I tensorflow/core/platform/cpu_feature_guard.cc:141] Your CPU supports instructions that this TensorFlow binary was not compiled to use: AVX2 FMA
2019-05-12 13:30:25.904409: I tensorflow/core/platform/profile_utils/cpu_utils.cc:94] CPU Frequency: 2905000000 Hz
2019-05-12 13:30:25.905473: I tensorflow/compiler/xla/service/service.cc:150] XLA service 0x5601f610b7a0 executing computations on platform host
2019-05-12 13:30:25.905531: I tensorflow/compiler/xla/service/service.cc:158] StreamExecutor device (0): <undefined>, <undefined>
107507/107507 [=====] - 8s 74us/step - loss: 0.0060 - acc: 0.9996
/usr/lib/python3.7/site-packages/keras/callbacks.py:569: RuntimeWarning: Early stopping conditioned on metric `val_loss` which is not available for this model. We skip this threshold.
(self.monitor, '.join(list(logs.keys()))), RuntimeWarning
Epoch 2/30
107507/107507 [=====] - 9s 80us/step - loss: 0.0060 - acc: 0.9996
Epoch 3/30
107507/107507 [=====] - 8s 76us/step - loss: 0.0060 - acc: 0.9996
Epoch 4/30
107507/107507 [=====] - 8s 73us/step - loss: 0.0060 - acc: 0.9996
Epoch 5/30
107507/107507 [=====] - 8s 72us/step - loss: 0.0060 - acc: 0.9996
Epoch 6/30
```

Outil réalisé

CLIENT : SAUVEGARDE DU MODÈLE

```
107507/107507 [=====] - 11s 98us/step - loss: 0.0060 - acc: 0.9996
acc: 99.96%
Do you want to save it ? (y/n)
-> y
Name of the model ?
-> model_test_5
Saved model to disk
```



model_test_5.h5



model_test_5.json



Données et structure du modèle

```
"class_name": "Sequential",
"config": {
  "name": "sequential_1",
  "layers": [
    {
      "class_name": "Dense",
      "config": {
        "name": "dense_1",
        "trainable": true,
        "batch_input_shape": [
          null,
          12
        ],
        "dtype": "float32",
        "units": 250,
        "activation": "relu",
        "use_bias": true,
        "kernel_initializer": {
          "class_name": "VarianceScaling",
          "config": {
            "scale": 1,
            "mode": "fan_avg",
            "distribution": "uniform",
            "seed": null
          }
        },
        "bias_initializer": {
          "class_name": "Zeros",
          "config": {}
        },
        "kernel_regularizer": null,
        "bias_regularizer": null,
        "activity_regularizer": null,
        "kernel_constraint": null,
        "bias_constraint": null
      }
    },
    {
      "class_name": "Dense",
      "config": {
        "name": "dense_2",
        "trainable": true,
        "batch_input_shape": [
          null,
          10
        ],
        "dtype": "float32",
        "units": 10,
        "activation": "softmax",
        "use_bias": true,
        "kernel_initializer": {
          "class_name": "VarianceScaling",
          "config": {
            "scale": 1,
            "mode": "fan_avg",
            "distribution": "uniform",
            "seed": null
          }
        },
        "bias_initializer": {
          "class_name": "Zeros",
          "config": {}
        },
        "kernel_regularizer": null,
        "bias_regularizer": null,
        "activity_regularizer": null,
        "kernel_constraint": null,
        "bias_constraint": null
      }
    }
  ]
}
```

Configuration du modèle

Outil réalisé

CLIENT : CHARGEMENT ET TEST DU MODÈLE

```
hex@archlinux:~/isen/Projets/ZigbeeDefender/client 05/12/19 18:54 master python __init__.py
Using TensorFlow backend.
What do you want ?
1. Train
2. Test
3. Predict one
-> 3
how many samples to test ? : 20
model name : perfect
WARNING:tensorflow:From /usr/lib/python3.7/site-packages/tensorflow/python/framework/op_def_library.py:263: colocate_with (from tensorflow.python.framework.op_def_library) is deprecated and will be removed in a future version.
Instructions for updating:
Colocations handled automatically by placer.
2019-05-12 18:54:57.815257: I tensorflow/core/platform/cpu_feature_guard.cc:141] Your CPU supports instructions that this TensorFlow binary was not compiled to use: AVX2
2019-05-12 18:54:57.835693: I tensorflow/core/platform/profile_utils/cpu_utils.cc:94] CPU Frequency: 2905000000 Hz
2019-05-12 18:54:57.836023: I tensorflow/compiler/xla/service/service.cc:150] XLA service 0x561c2ef0a790 executing computations on platform Host
2019-05-12 18:54:57.836052: I tensorflow/compiler/xla/service/service.cc:158] StreamExecutor device (0): <undefined>, <undefined>
Result : 0 -> 5526146536912589.0::5526146536912725.0::45307.0::1::30::230::1086834::0::2::26.125::1::3665.248046875
NORMAL
Result : 0 -> 5526146536912589.0::5526146536912725.0::45307.0::1::30::227::1086828::0::2::26.09375::1::3638.181640625
NORMAL
Result : 1 -> 1.346489592976547e+18::5526146536912725.0::45307.0::0::30::811::648::0::1::27./::2::389.2::30::5::5::4
SUSPICIOUS
Result : 1 -> 1.346489592976547e+18::5526146536912725.0::45307.0::0::30::3789::644::0::1::29.2::2::431.0::28::5::5::4
SUSPICIOUS
Result : 0 -> 5526146536912589.0::5526146536912725.0::45307.0::1::30::222::1086817::0::2::26.0625::1::3617.4560546875
NORMAL
Result : 0 -> 5526146536912589.0::5526146536912725.0::45307.0::1::30::228::1086830::0::2::26.09375::1::3644.7255859375
NORMAL
Result : 1 -> 1.346489592976547e+18::5526146536912725.0::45307.0::0::30::764::645::0::1::19.2::2::202.4::28::5::5::4
SUSPICIOUS
Result : 1 -> 1.346489592976547e+18::5526146536912725.0::45307.0::0::30::764::645::0::1::19.2::2::202.4::28::5::5::4
SUSPICIOUS
Result : 1 -> 4.023390448458736e+18::5526146536912725.0::45307.0::1::30::395::788::0::1::15.4::2::304.8::46::18::7::5
SUSPICIOUS
Result : 1 -> 1.346489592976547e+18::5526146536912725.0::45307.0::0::30::3789::644::0::1::29.2::2::431.0::28::5::5::4
SUSPICIOUS
Result : 0 -> 5526146536912589.0::5526146536912725.0::45307.0::1::30::229::1086832::0::2::26.125::1::3656.0224609375
NORMAL
Result : 0 -> 5526146536912589.0::5526146536912725.0::45307.0::1::30::229::1086832::0::2::26.125::1::3656.0224609375
NORMAL
```

Test sur des données inconnues du modèle

Présentation des résultats

Présentation des résultats

CONTEXTE D'OBTENTION DES RÉSULTATS



14 valeurs sont intégrées
au calcul



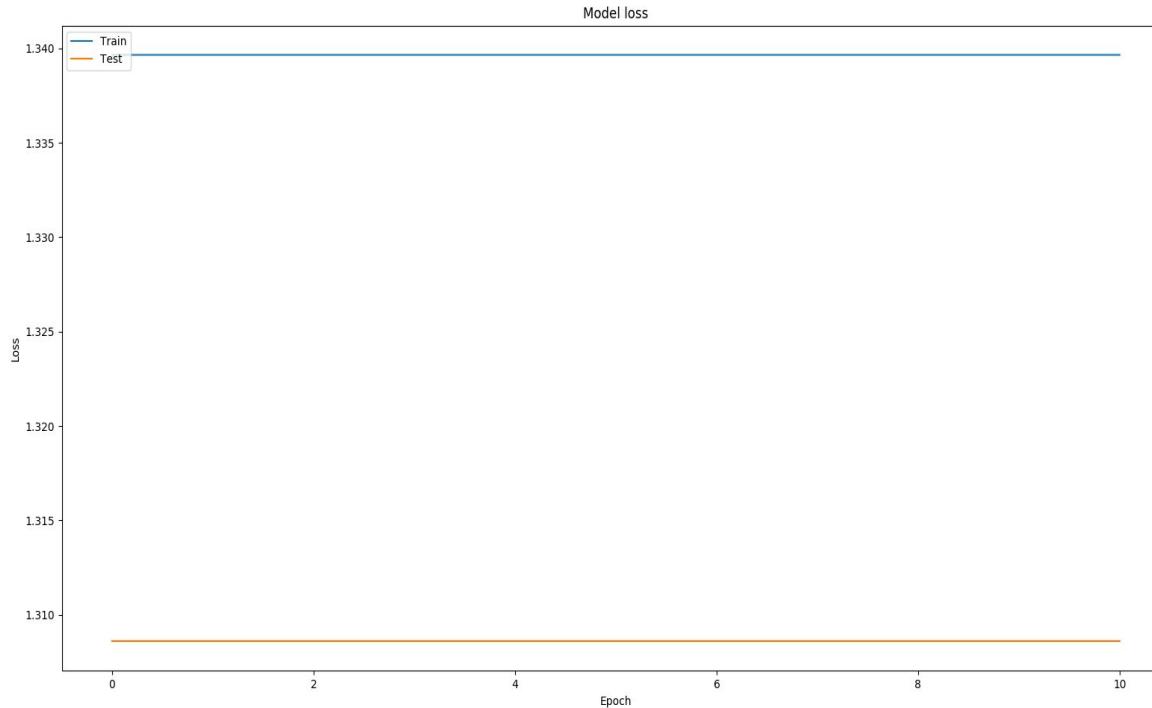
Une seconde base est
utilisée



Les attaques sont
générées via un script

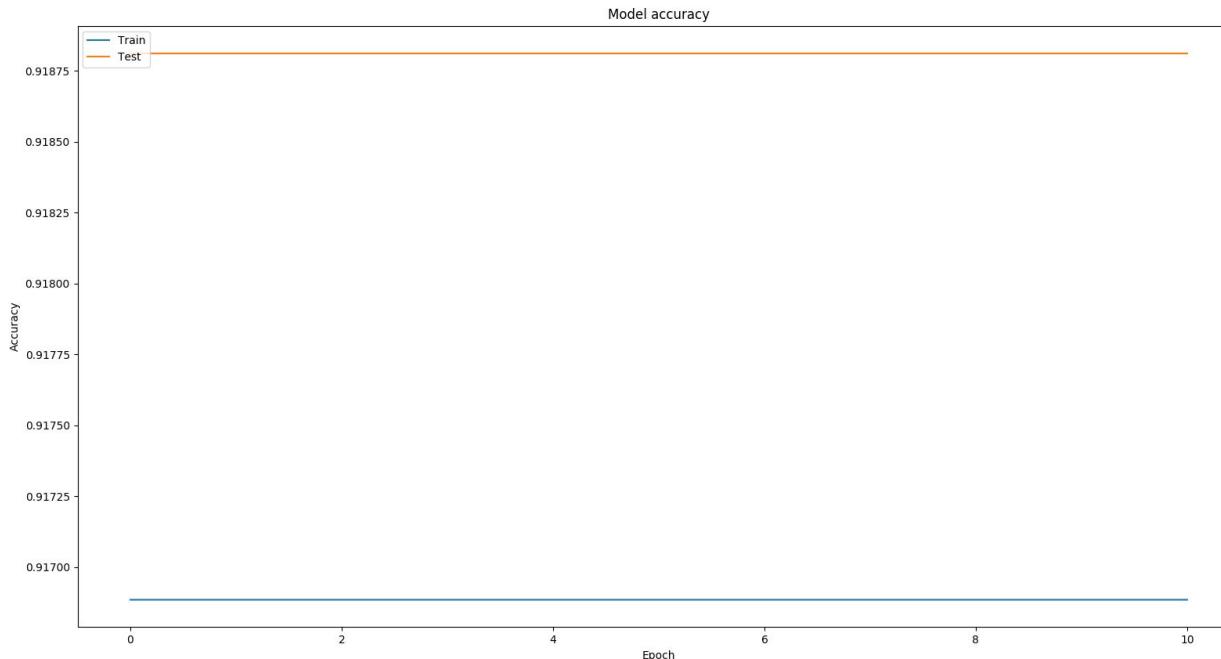
Présentation des résultats

RÉSULTATS DU MODÈLE



Présentation des résultats

RÉSULTATS DU MODÈLE



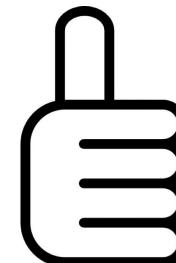
Présentation des résultats

RÉSULTATS DU MODÈLE

```
o hex@archlinux ➤ /isen/Projets/ZigbeeDefender/client ➤ 05/12/19 18:54 ➤ master ➤ python __init__.py
Using TensorFlow backend.
What do you want ?
1. Train
2. Test
3. Predict one
-> 3
how many samples to test ? : 20
model name : perfect
WARNING:tensorflow:From /usr/lib/python3.7/site-packages/tensorflow/python/framework/op_def_library.py:263: colocate_with (from tensorflow.python.
Instructions for updating:
Colocations handled automatically by placer.
2019-05-12 18:54:57.815257: I tensorflow/core/platform/cpu_feature_guard.cc:141] Your CPU supports instructions that this TensorFlow binary w
2019-05-12 18:54:57.835693: I tensorflow/core/platform/profile_utils/cpu_utils.cc:94] CPU Frequency: 2905000000 Hz
2019-05-12 18:54:57.836023: I tensorflow/compiler/xla/service/service.cc:150] XLA service 0x561c2ef0e790 executing computations on platform H
2019-05-12 18:54:57.836052: I tensorflow/compiler/xla/service/service.cc:158] StreamExecutor device (0): <undefined>, <undefined>
Result : 0 -> 5526146536912589.0::5526146536912725.0::45307.0::1::30::230::1086834::0::2::26.125::1::3665.248046875
NORMAL
Result : 0 -> 5526146536912589.0::5526146536912725.0::45307.0::1::30::227::1086828::0::2::26.09375::1::3638.181640625
NORMAL
Result : 1 -> 1.346489592976547e+18::5526146536912725.0::45307.0::0::30::811::648::0::1::27.7::2::389.2::30::5::5::4
SUSPICIOUS
Result : 1 -> 1.346489592976547e+18::5526146536912725.0::45307.0::0::30::3789::644::0::1::29.2::2::431.0::28::5::5::4
SUSPICIOUS
Result : 0 -> 5526146536912589.0::5526146536912725.0::45307.0::1::30::222::1086817::0::2::26.0625::1::3617.4560546875
NORMAL
Result : 0 -> 5526146536912589.0::5526146536912725.0::45307.0::1::30::228::1086830::0::2::26.09375::1::3644.7255859375
NORMAL
Result : 1 -> 1.346489592976547e+18::5526146536912725.0::45307.0::0::30::764::645::0::1::19.2::2::202.4::28::5::5::4
SUSPICIOUS
Result : 1 -> 1.346489592976547e+18::5526146536912725.0::45307.0::0::30::764::645::0::1::19.2::2::202.4::28::5::5::4
SUSPICIOUS
Result : 1 -> 4.023390448458736e+18::5526146536912725.0::45307.0::1::30::395::788::0::1::15.4::2::304.8::46::18::7::5
SUSPICIOUS
Result : 1 -> 1.346489592976547e+18::5526146536912725.0::45307.0::0::30::3789::644::0::1::29.2::2::431.0::28::5::5::4
SUSPICIOUS
Result : 0 -> 5526146536912589.0::5526146536912725.0::45307.0::1::30::229::1086832::0::2::26.125::1::3656.0224609375
NORMAL
Result : 0 -> 5526146536912589.0::5526146536912725.0::45307.0::1::30::229::1086832::0::2::26.125::1::3656.0224609375
NORMAL
```

Les données de test proviennent d'une seconde base de données

Le modèle est fonctionnel, un taux de 100% de réussite est atteint en utilisant le set généré.



Synthèse

PROBLÈMES RENCONTRÉS



Projet demandant des ressources matériel non disponible à l'ISEN



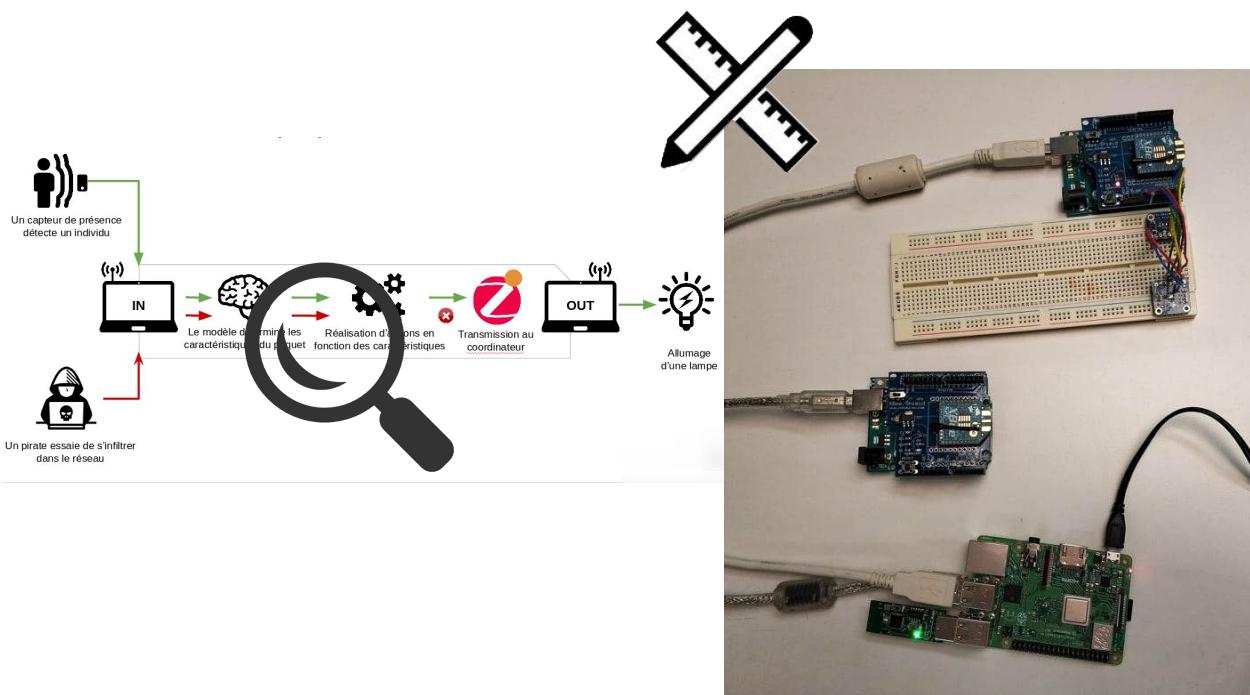
Résultats en conditions non réelles, attaques simulées via script



Manque de temps

Synthèse

MISE EN PLACE D'UNE SOLUTION EN RÉPONSE À LA PROBLÉMATIQUE



Conception et paramétrage

Nombre de couches, type de courbe, taux d'apprentissage...

Taux (σ) d'erreur trop important, $\sigma >$ seuil fixé



Entraînement du modèle



Test sur des données non étiquetées

Vérification de la pertinence du modèle sur des données non connues

Conclusion :
Est-il possible de sécuriser un réseau Zigbee à l'aide du
Deep Learning ?

Merci pour votre attention.
Des questions ?